



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Mecánica

PROYECTO FIN DE GRADO

**ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DINÁMICO DE  
PINZA DE ROBOT PARA ESPACIOS  
AISLADOS**

GRADO INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Alejandra Carranza Pose

Tutor: Enrique Soriano Heras

Leganés, Junio de 2015



Título: Análisis cinemático y dinámico de pinza de robot para espacios aislados.

Autor:

Director:

## EL TRIBUNAL

Presidente: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Secretario: \_\_\_\_\_

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día \_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

# Agradecimientos

Al Dr. Enrique Soriano. Por su constante dedicación a la docencia, y su incondicional apoyo a lo largo de toda la elaboración de este proyecto.

A mis padres. Por inculcarme la constancia que me ha hecho llegar hasta donde estoy.

# Resumen

Este proyecto se define como la continuación al estudio iniciado por Laura Nogales en su Trabajo Fin de Grado: **DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA PINZA DE AGARRE CON SISTEMA RETRÁCTIL** el cual ha constituido el pilar básico para el desarrollo de esta segunda parte.

En este proyecto, quedará reflejada la investigación realizada que ha permitido:

- Determinar con estudios más exhaustivos las características del objeto que la pinza puede agarrar tal como forma, peso, rigidez del objeto, naturaleza del material, rugosidad del mismo, etc.
- Optimizar el mecanismo utilizando el programa Autodesk® Inventor® el cual, en el entorno de análisis de tensión es capaz de realizar estudios de optimización paramétrica, efectuando restricciones de diseño incluyendo la masa.
- Analizar el contacto entre la pinza y el objeto, cuyo estudio inicial se ha introducido en el Capítulo 2, apartado 2.6. del Proyecto Fin de Grado realizado por Laura Nogales.
- Mejorar la transmisión del conjunto cremallera-rueda dentada.
- Proporcionar un profundo análisis cinemático y dinámico de nuestro mecanismo de agarre para las condiciones anteriormente definidas
- Finalizar un proceso de investigación que ha permitido abrir las puertas de su lanzamiento al mercado, implementándose en una cadena de producción, para la manipulación de piezas necesarias para la fabricación de filtros de aceite en instalaciones de aire comprimido.

**Palabras clave:** espacios reducidos, ventaja mecánica, análisis dinámico, mecanismo de agarre



# Abstract

This project is defined as a continuation to the study initiated by Laura Nogales in her Final Year Project: DESIGN AND ANALYSIS OF A GRIPPER-CLIP RECTRACTABLE SYTEM which has been the cornerstone for the development of this second part.

In this project, will reflect the research conducted has:

- Determine most comprehensive studies the characteristics of the object that the clamp can grab as shape, weight, stiffness of the object, nature of the material, roughness thereof, etc.
- Optimize the mechanism using the Autodesk® Inventor® program which, in the stress analysis environment is able to perform parametric studies optimization design constraints including making the dough.
- Analyze the contact between the clamp and the object whose initial study was introduced in Chapter 2, paragraph 2.6. End Graduation Project by Laura Nogales.
- Improve transmission zipper assembly - sprocket.
- Provide extensive kinematic and dynamic analysis of our gripping mechanism for the above defined conditions
- Finish an investigation process that has opened the doors of its market launch, implemented in a production line for handling of parts required to manufacture oil filters in compressed air.

**Keywords:** confined spaces, mechanical advantage, dynamic analysis, gripping mechanism





# Índice general

<b>1. CAPÍTULO 1</b>	
<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>20</b>
1.1    Introducción	20
1.2    Objetivos	21
1.3    Fases del desarrollo	22
1.4    Medios empleados	23
1.5    Estructura de la memoria	23
1.6    Cronograma/ 2014-2015	25
<b>2. CAPÍTULO 2</b>	
<b>METODOLOGÍA Y PROGRAMAS UTILIZADOS</b>	<b>26</b>
2.1    Introducción	26
2.2    Análisis del primer modelo	27
2.3    Análisis de los resultados obtenidos	29
2.4    Propuesta de un nuevo modelo	29
2.5    Autodesk® Inventor® 2013	30

<b>3. CAPÍTULO 3</b>	
<b>MECANISMOS DE AGARRE. DEFINICIÓN Y TIPOLOGÍA.</b>	<b>31</b>
3.1 Introducción	31
3.2 Los sistemas de agarre. Definición y tipología.	32
<b>4. CAPÍTULO 4</b>	
<b>FUERZAS EN LAS PINZAS</b>	<b>39</b>
4.1 Introducción	39
4.2 Fuerzas en los Grippers. Análisis y tipología	40
<b>5. CAPÍTULO 5</b>	
<b>DISEÑO. PARÁMETROS Y METODOLOGÍA</b>	<b>55</b>
5.1 Introducción	55
5.2 Parámetros de diseño	58
<b>6. CAPÍTULO 6</b>	
<b>MODELO BASE. CARACTERÍSTICAS Y GEOMETRÍA</b>	<b>71</b>
6.1 Introducción	71
6.2 Descripción del modelo base	72
6.3 Características del actuador neumático	74
6.4 Secuencia de movimiento	76
<b>7. CAPÍTULO 7</b>	
<b>ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DINÁMICO DEL PROTOTIPO INICIAL. METODOS ANALÍTICOS</b>	<b>77</b>
7.1 Introducción	77
7.2 Metodo de Raven	78
7.3 Principio de los Trabajos Virtuales	84

7.4	Modelo analítico para el diseño propuesto	88
<b>8.</b>	<b>CAPÍTULO 8</b>	
	<b>NUEVO PROTOTIPO. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS</b>	<b>101</b>
8.1	Introducción	101
8.2	Material empleado. Propiedades	103
8.3	Diseño y modelado de las piezas	104
8.4	Secuencia del movimiento	111
<b>9.</b>	<b>CAPÍTULO 9</b>	
	<b>PRESUPUESTO</b>	<b>114</b>
9.1	Introducción	114
9.2	Cálculo del presupuesto	115
<b>10.</b>	<b>CAPÍTULO 10</b>	
	<b>CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.</b>	<b>118</b>
10.1	Introducción	118
10.2	Conclusiones	118
10.3	Trabajos futuros	119
<b>11.</b>	<b>CAPÍTULO 11</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS</b>	<b>120</b>
11.1	Bibliografía	120
11.2	Anexos	123





# Índice de figuras

Figura 1.Ciclo de diseño [1] .....	27
Figura 2. Modelo inicial propuesto [3] .....	28
Figura 3.Pinza de dos dedos[ 5] .....	33
Figura 4. Aplicación de la robótica a cadenas de montaje [5] .....	34
Figura 5.Aplicación de la robótica a procesos de soldadura [5] .....	34
Figura 6.Aplicación de la robótica en la medicina. [7] .....	35
Figura 7.Pinza de enganche [8] .....	37
Figura 8. Zona de pinzado, sujeción y asentamiento [10].....	41
Figura 9.Sujeción interna para piezas huecas [10].....	42
Figura 10.Tipos de carga puntual debido a la sujeción [10] .....	43
Figura 11. Sistemas de sujeción [10] .....	44
Figura 12.Eschema-Factores de influencia en la selección de una pinza. [10].....	45
Figura 13.Componentes de un sistema de pinzado [10] .....	47
Figura 14.El contorno de la zona de pinzado determina la forma de la mandíbula utilizada, 1,2, o 3. [10] .....	48

Figura 15.Mandíbula de una pinza paralela para 3 márgenes de diámetros [11].....	48
Figura 16.Condiciones de pinzado [10] .....	49
Figura 17.Interacción de fuerzas [10] .....	50
Figura 18.Función simple de sujeción .....	51
Figura 19.Expresión de la fuerza de sujeción [10].....	51
Figura 20.Vista en planta de dos situaciones de pinzado. a) Pinza de dos dedos con mandíbulas en V, b) Pinza de tres dedos [10].....	52
Figura 21.Representación gráfica de las fuerzas de contacto para mandíbulas en V con 3-4 puntos de contacto [10] .....	52
Figura 22. a) En reposo b) En movimiento ascendente .....	53
Figura 23.Expresion-Fuerza de inercia [10].....	54
Figura 24.Expresión fuerza de inercia-Ejemplo: parada de emergencia [10] .....	54
Figura 25. Ejemplo del proceso para lo sujeción de un objeto de una mano robótica [12] .....	56
Figura 26. Esquema de una estructura de control [13].....	57
Figura 27. Planificación y ejecución de un proceso de mecanizado llevado a cabo por un robot.[15].....	61
Figura 28.Actuador neumático [16] .....	62
Figura 29.Actuador hidráulico. [16].....	63
Figura 30.Actuador eléctrico [16] .....	64
Figura 31. Ejemplo prototipo mano robótica realizado mediante impresora 3D .....	65
Figura 32.Ejemplo de clasificación del espacio de trabajo de un robot industrial [18] ....	66
Figura 33.Ejemplos de situaciones de riesgo para operarios , según referencia de normativas [19] .....	68
Figura 34. Configuraciones recomendadas para mandos: a) Mandos cubiertos por envoltorio b) Mandos a dos manos [20].....	69
Figura 35. a) Resguardo móvil con enclavamiento, b) Ejemplos de dispositivos de enclavamiento [20] 13 .....	69
Figura 36.Explodonado modelo base [3].....	72

Figura 37.Nombre de los componentes [3] .....	73
Figura 38.Montaje prototipo en diferentes posiciones [3] .....	73
Figura 39.Despliegue de todas las piezas del propotito base [3] .....	74
Figura 40.Esquema circuito neumático en avance y retroceso [3].....	75
Figura 41.Componentes del circuito [3].....	75
Figura 42.Secuencia de movimiento [3] .....	76
Figura 43.Cuadrilátero articulado [22].....	78
Figura 44.Ley de Grashof en mecanismo de cuatro barras [22] .....	79
Figura 45.Representación de los ejes real e imaginario [22] .....	80
Figura 46.Trayectoria de un punto P(x,y) del elemento acoplador de un cuadrilátero articulado [23] .....	81
Figura 47.Trabajo de un sistema de fuerzas [24] .....	85
Figura 48.Principio de los Trabajos Virtuales [25] .....	87
Figura 49.Teorema de las velocidades relativas [26] .....	87
Figura 50. Representación del mecanismo [3] .....	88
Figura 51.Modelo cinemático de nuestro Gripper [23] .....	88
Figura 52.Posición inicial [3] .....	89
Figura 53.Posición final [3].....	89
Figura 54.Representación de la trayectoria descrita por el mecanismo en Matlab [23] ...	90
Figura 55.Trayectoria descrita por el mecanismo.Parámetros [23] .....	90
Figura 56. <i>Variación de la aceleración en función del ángulo de entrada</i> .....	91
Figura 57. <i>Variación de la velocidad en función del ángulo de entrada</i> .....	91
Figura 58. Representación de la fuerza de agarre. [23].....	93
Figura 59.Representación de la fuerza de agarre [23].....	93
Figura 60.Representación Vp3 [23] .....	94
Figura 61.Cálculo del centro instantáneo de rotación [23] .....	96



Figura 62.Determinación del ángulo en el punto de contacto [23] .....	97
Figura 63.Conjunto piñon-cremallera [29] .....	100
Figura 63. Ejemplo: mano robótica de acero inoxidable [30].....	103
Figura 64. Conjunto de piezas que forman nuestro prototipo .....	104
Figura 65.Base inferior.....	105
Figura 66.Base superior .....	105
Figura 67. Base superior del prototipo real fabricado.....	106
Figura 68. Reverso de la base superior del prototipo real fabricado.....	106
Figura 69. Reverso base inferior del prototipo real fabricado .....	107
Figura 70. Base inferior del prototipo real fabricado .....	107
Figura 71.Rótula.....	108
Figura 72. Brazo I .....	108
Figura 73.Brazo II .....	109
Figura 74. Brazos del prototipo real fabricado.....	109
Figura 75. Conjunto deslizadera .....	110
Figura 76.Conjunto deslizadera .....	110
Figura 78.Secuencia I movimiento .....	111
Figura 79.Secuencia II movimiento .....	111
Figura 80.Secuencia III movimiento.....	112
Figura 81.Secuencia I movimiento. Prototipo fabricado .....	112
Figura 82.Secuencia II movimiento. Prototipo fabricado .....	113
Figura 83. Secuencia III movimiento. Prototipo fabricado.....	113



# Índice de tablas

Tabla 1. Diagrama Gant. Duración de actividades .....	25
Tabla 2. Esquema sistema de sujeción-accionamiento. ....	37
Tabla 3. Correlaciones .....	46
Tabla 4. Características actuadores .....	65
Tabla 5. Medios de protección de máquinas .....	70
Tabla 6. Propiedades del acero inoxidable .....	72
Tabla 7. Características del cilindro de doble efecto .....	75
Tabla 8. Trabajos producidos por cada una de las fuerzas a lo largo del desplazamiento. ....	86
Tabla 9. Longitud de los eslabones (I) .....	89
Tabla 10. Longitud de los eslabones (II) .....	92
Tabla 11. Características técnicas del cilindro de doble efecto .....	93
Tabla 12. Propiedades del acero inoxidable .....	103
Tabla 13. Parámetros del engranaje .....	<b>104</b>



# Capítulo 1

## Introducción y objetivos

---

### 1.1 Introducción

Se hace necesario a la hora de comenzar este proyecto, establecer un capítulo inicial, centrado en aclarar la organización mantenida a lo largo de cada una de las páginas, y a desenmarañar la secuencia de pasos que han hecho posible el presente estudio.

Este capítulo se divide en cinco apartados independientes en temática, pero interrelacionados en contexto, que permitirán al lector tener una visión clara del esqueleto de nuestro trabajo.

- **Objetivos:** qué se busca con el estudio y realización de este proyecto
- **Fases de desarrollo:** qué es lo que ha habido que hacer para llevar a cabo todo el proyecto.
- **Medios con los que se ha contado para hacer el proyecto:** hardware, software, laboratorios, etc.
- **Estructura de la memoria:** breve resumen de un párrafo de cada capítulo para facilitar la tarea al lector.
- **Cronograma:** desglose de las actividades realizadas mes a mes desde que se inició el proyecto

## 1.2 Objetivos

La realización de este Proyecto Fin de Grado tiene como objetivo principal, respetando el diseño inicial de un mecanismo con características de pinza industrial de dos dedos retráctiles planteado por el Dr. Enrique Soriano de la Universidad Carlos III de Madrid y desarrollado en una primera fase por D<sup>a</sup> Laura Nogales, *analizar cinemática y dinámicamente nuestro gripper, mejorando las condiciones de ventaja mecánica* ante una situación de características definidas.

Seleccionar la manipulación de una pieza específica, de dimensiones, y propiedades mecánicas concretas, estableciendo una ley de contacto que nos permita estudiar nuestro mecanismo de forma analítica, informática y experimentalmente.

El proyecto aportado por Laura Nogales, se centra en las operaciones y actividades necesarias para diseñar un mecanismo de agarre habiendo definido previamente los objetivos/ capacidades/ utilidades del gripper que se quiere obtener.

Este segundo proyecto, apoyado sobre el diseño previamente mencionado, establece como objetivo principal:

Optimizar el mecanismo del diseño inicial, adecuando los elementos finales de agarre a una pieza concreta.

Para lo cual se realizarán los siguientes pasos

- Análisis cinemático y dinámico del mecanismo de la pinza
- Estudio de las diferentes fuerzas y fricciones entre los componentes que conforman el sistema.
- Fabricación de un nuevo prototipo

## **1.3 Fases del desarrollo**

Las etapas del presente Proyecto Fin de Grado, realizado en el curso académico 2014-2015, son:

- ***Etapas 1- Anteproyecto***

- Búsqueda de información: antecedentes de los sistemas de agarre
- Estudio detallado del Proyecto realizado por Laura Nogales
- Clasificación de los diferentes mecanismos de agarre atendiendo a la tipología
- Clasificación de los diferentes mecanismos de agarre atendiendo a las diferentes opciones en el movimiento, parámetros críticos
- Normativa - Seguridad
- Estudio de la situación comercial actual de los grippers , analizando el panorama internacional de la robótica y mecanismos de agarre, así como empresas punteras en el sector.
- Aprendizaje de los diferentes programas informáticos utilizados.

- ***Etapas 2- de Proyecto***

- Análisis del modelo propuesto por el Dr. Enrique Soriano, y desarrollado inicialmente por Laura Nogales, definiendo una situación específica que permita desarrollar una Ley de contacto, y adentrarnos de esta manera, en un exhaustivo análisis de un gripper determinado.
- Estudio, y posterior soluciones de mejora para la transmisión del conjunto cremallera- rueda dentada.
- Modelado de piezas, montaje del conjunto y realización de simulaciones para comprobar la validez del prototipo con el software Autodesk®
- Definición y caracterización del gripper definitivo, optimizando el mecanismo con la ayuda de Autodesk®
- Realización de planos, cotas y tolerancias.
- Análisis analítico y por elementos finitos de su comportamiento cinemático y dinámico

- Fabricación, montaje y presupuesto.
- Conclusiones y trabajos futuros.

## **1.4 Medios empleados**

Recursos informáticos:

- Autodesk® Inventor® Professional 2013.
- Solid Edge v19
- Automation Studio™.
- AutoCAD 2011.
- Matlab Simulink
- Microsoft Office 2007

Recursos bibliotecarios:

- Documentación técnica especializada
- Centro especializado de la Universidad Carlos III

Recursos materiales para la construcción del prototipo:

- Impresoras 3D (Lab.Prototipado rápido ETSIDI-UPM)
- Componentes neumáticos.

## **1.5 Estructura de la memoria**

Este trabajo fin de grado está estructurado en ocho capítulos, en los cuales mediante una metodología de actuación se pretende conseguir los objetivos reflejados en el punto 1.2

### **Capítulo 1**

En el primer capítulo se definen los objetivos, fases del proyecto, recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto y el cronograma seguido durante la elaboración del mismo

### **Capítulo 2**

En el segundo capítulo se define la metodología llevada a cabo y los programas utilizados.

### **Capítulo 3**

En el tercer capítulo, se detallan conceptos teóricos sobre los mecanismos de agarre, así como la tipología sistemas de sujeción en función de una serie de parámetros.

### **Capítulo 4**

En el cuarto capítulo nos centraremos en las fuerzas existentes en los procesos de sujeción de los mecanismos de agarre

#### Capítulo 5

En el quinto capítulo definiremos los parámetros y metodología a seguir en un proceso de diseño de un mecanismo de agarre

#### Capítulo 6

En el sexto capítulo, se detallará brevemente las características mecánicas y geometría del modelo inicial propuesto por Laura Nogales.

#### Capítulo 7

En el séptimo capítulo se analizará estática y dinámicamente el gripper mediante dos métodos analíticos. El método de Raven y el Principio de los Trabajos Virtuales.

#### Capítulo 8

En el octavo capítulo, y teniendo en cuenta los datos obtenidos en el capítulo anterior se propone el nuevo prototipo

#### Capítulo 9

En el capítulo noveno se detalla presupuesto

#### Capítulo 10

En el capítulo décimo nos centraremos en conclusiones y trabajos futuros.

#### Capítulo 11

Bibliografía y anexos



## 1.6 Cronograma/ 2014-2015

	May	Jun	Jul	Ag	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
ACTIVIDADES															
Selección proyecto Descripción del proyecto Objetivos del proyecto															
Plan operativo de actividades															
Estudio de factibilidad															
Desarrollo marco teórico															
Desarrollo marco metodológico															
Estudio y diseño analítico															
Estudio y diseño informático															
Estudio y diseño experimental Estudio y diseño global															
Elaboración documento final															
Construcción prototipo															
Evaluación															

Tabla 1. Diagrama Gant. Duración de actividades



## Capítulo 2

# Metodología y programas utilizados

---

### 2.1 Introducción

Este capítulo describe la estructura que se pretende seguir en este proyecto de análisis y propuesta de un diseño alternativo.

Es importante establecer una metodología que nos permita identificar en qué orden debemos realizar el proyecto. De esta manera, a través de una información de partida, podremos alcanzar los objetivos propuestos.

A continuación se detalla un esquema genérico de las partes que componen un ciclo de diseño:

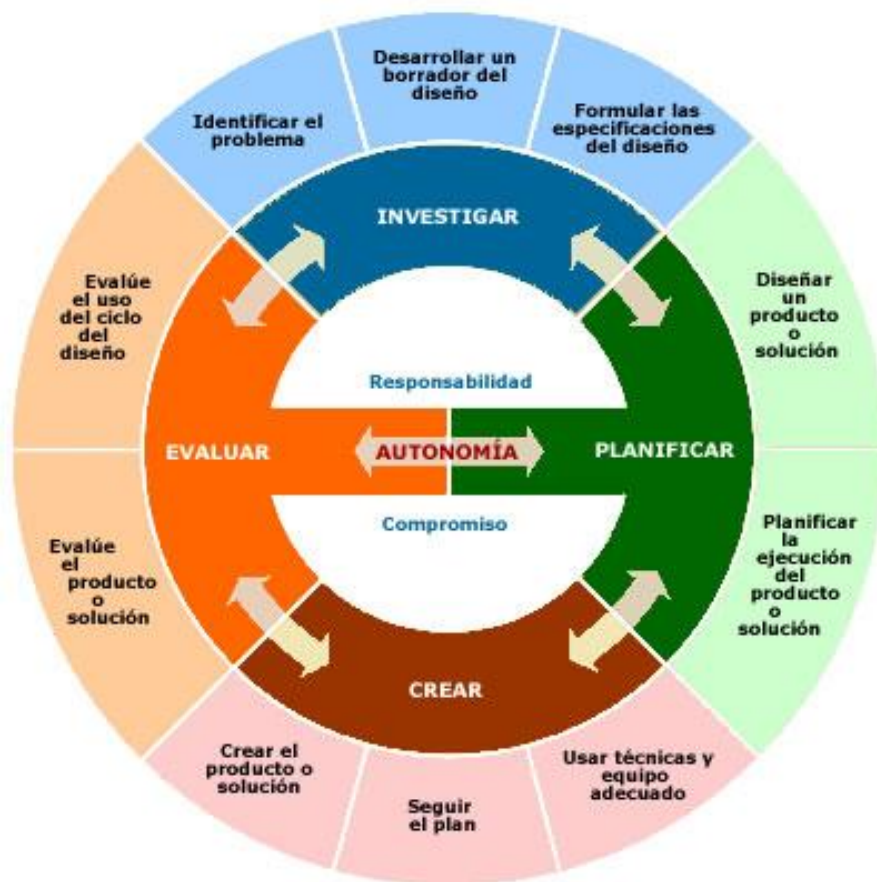


Figura 1.Ciclo de diseño [1]

El proceso de diseño transcurre en cuatro etapas distintas, estas son: definición del problema o el objetivo que se pretende cubrir, planteamiento de una solución, desarrollo de la solución y evaluación de los resultados

## **2.2 Análisis del primer modelo**

La primera parte de nuestro proyecto consiste en cuantificar mediante métodos analíticos, la ventaja mecánica del prototipo propuesto por Laura Nogales,

Los métodos analíticos tienen como objetivo, llegar a una expresión matemática de las variables cinemáticas de posición, velocidad y aceleración, en función de los parámetros que definen las dimensiones del mecanismo analizado y las variables cinemáticas de entrada.

Normalmente estos métodos se basan en tres tipos de enfoques matemáticos: trigonométricos, números complejos, y análisis vectorial. Nosotros nos serviremos de dos métodos analíticos para analizar nuestro mecanismo de agarre, planteando las ecuaciones

de cierre o lazo. Estas ecuaciones representan las restricciones del movimiento del mecanismo de forma matemática empleando cualquiera de los tres enfoques.

### **Método 1: Método de Raven.**

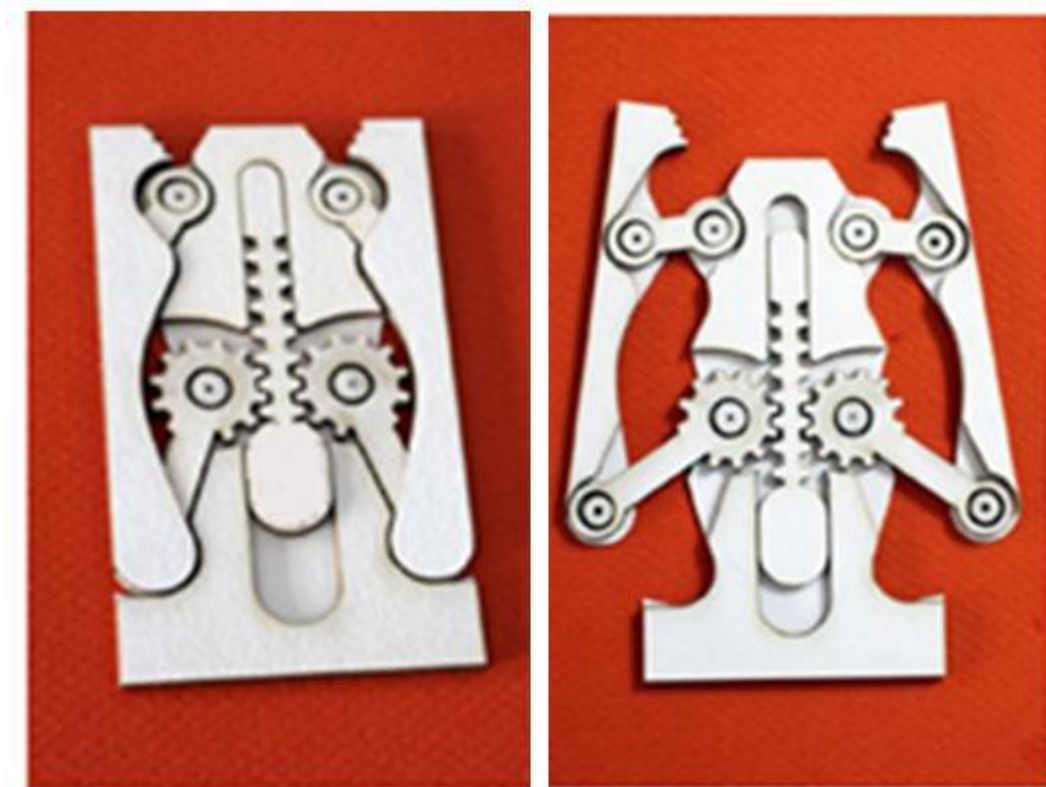
A través del método de Raven y planteando las ecuaciones de cierre, abordaremos tres problemas principales.

- Análisis de la posición
- Análisis de la velocidad
- Análisis de la aceleración

### **Método 2: Principio de los Trabajos Virtuales.**

Este segundo método lo utilizaremos para poder determinar la ventaja mecánica de nuestro mecanismo, entendiéndose como ventaja mecánica de un mecanismo o transmisión:

*“El cociente entre la fuerza o momento disponible en el punto o eslabón de salida y la fuerza o momento que es necesario aplicar en la entrada. Representa la multiplicación de esfuerzo conseguida por ese mecanismo o transmisión” [2]*



**Figura 2. Modelo inicial propuesto [3]**

## **2.3 Análisis de los resultados obtenidos**

Tras la obtención de unos valores, podremos comprobar si la relación entre la fuerza de entrada y salida es aceptable, o si por el contrario, estamos en una situación de desgaste energético.

De estar en este segundo caso, se detectarían aquellos puntos críticos de diseño que provocan la baja ventaja mecánica, estudiando en profundidad las desventajas del gripper propuesto.

## **2.4 Propuesta de un nuevo modelo**

Habiendo realizado y el análisis dinámico del anterior modelo y comprobado la poca ventaja mecánica que lo caracteriza, procederemos a detallar en este capítulo, el nuevo modelo mejorado.

¿En qué consistirá esta mejora?

Es una mejora en el diseño. Ciertas componentes de nuestro mecanismo de agarre provocaban un desgaste muy elevado y en este nuevo prototipo se plantea una alternativa de diseño.

Los pasos seguidos para la obtención del prototipo, una vez se han estudiado las desventajas:

- Crear alternativas de diseño de todos aquellos componentes que han provocado en mayor medida una baja ventaja mecánica
- Seleccionar un diseño final de cada componente.
- Aplicar las propiedades a los componentes ( tipo de material y propiedades mecánicas)
- Montar el conjunto asignando las diferentes restricciones entre piezas.
- Especificar las condiciones de contorno.
- Definir el movimiento.

- Ejecutar la simulación y analizar los resultados obtenidos
- Montaje y fabricación.

## **2.5 Autodesk® Inventor® 2013**

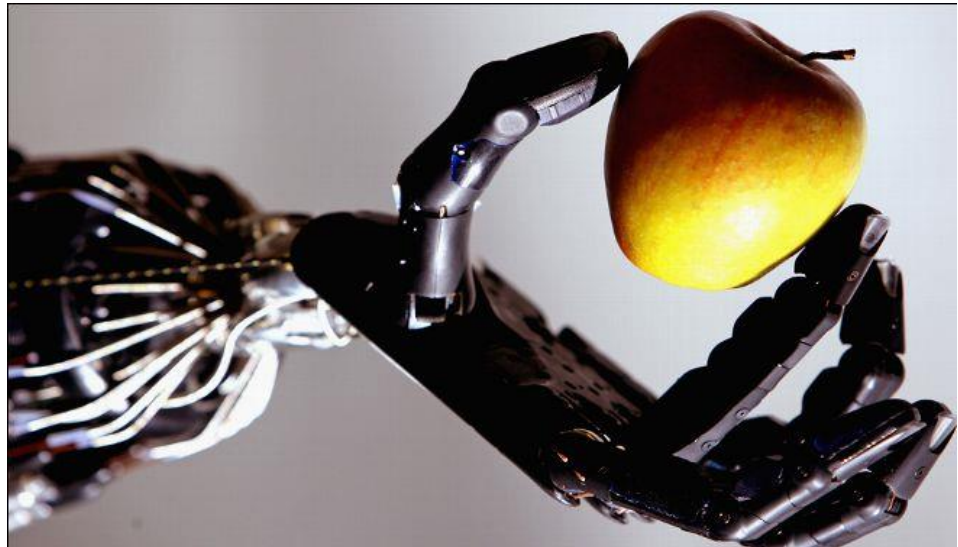
Para realizar el diseño de nuestro prototipo se ha utilizado Autodesk® Inventor® 2013.

Autodesk® Inventor® proporciona un conjunto completo de herramientas de diseño para producir, validar y documentar prototipos digitales completos, que ayudan a los diseñadores a crear modelos más innovadores con menos prototipos físicos. Es un paquete de modelado paramétrico de sólidos en 3D producido por la empresa de software Autodesk®. Compite con otros programas de diseño asistido por ordenador como SolidWorks®, Pro/ENGINEER®, CATIA® y SolidEdge® [4]

Permite llevar a cabo una combinación de un entorno de diseño 3D intuitivo para crear piezas y ensambles con herramientas de diseño funcional, que permiten a los ingenieros y diseñadores concentrarse en la función del diseño para dirigir la creación automática de componentes avanzados.

Permite verificar los datos de diseño e ingeniería conforme se trabaja, minimiza la necesidad de prototipos físicos y ahorra costosas modificaciones de ingeniería que, generalmente, son detectadas tras enviar el diseño a fabricación. Una de las claves del éxito de Autodesk® Inventor® radica en su potente interfaz gráfico, que permite al usuario ser productivo desde el primer día.

Autodesk® Inventor® proporciona un conjunto completo de herramientas de diseño para producir, validar y documentar prototipos digitales completos, que ayudan a los diseñadores a crear modelos más innovadores con menos prototipos físicos. Es un paquete de modelado paramétrico de sólidos en 3D producido por la empresa de software Autodesk®. Compite con otros programas de diseño asistido por ordenador como SolidWorks®, Pro/ENGINEER®, CATIA® y SolidEdge® [4]



## Capítulo 3

# Mecanismos de agarre. Definición y tipología.

---

### 3.1 Introducción

Si bien este capítulo pretende concentrar los contenidos teóricos que engloban los sistemas de agarre, es preciso recalcar que nuestro estudio se centrará en mecanismos de sujeción de dos garras.

A día de hoy, y tras diversos estudios estadísticos realizados por centros de desarrollo, análisis e investigación del campo de la robótica, se puede afirmar que 60 a 70% de los agarres usados para tomar objetos de forma regular como la cilíndrica, paralelepípedo y piramidal son realizados con modo de pinzas de dos dedos. [5]

Debido a la intención final de lanzar nuestro prototipo al mercado, el tener este tipo de datos aparentemente superficiales, supone un importante avance a la hora de concretar nuestro diseño.

Aceptando la capacidad de un gripper de dos garras para superar con éxito un amplio abanico de situaciones de agarre, y debido a que cada situación implica un diseño, este capítulo pretende facilitar al lector la posibilidad de conocer cómo se clasifican los mecanismos, que factores son determinantes a la hora de diferenciar un agarre de otro, y



por qué los grippers de dos garras están o pueden estar presentes en la mayoría de las situaciones de agarre

## **3.2 Los sistemas de agarre. Definición y tipología.**

- **Definición.**

¿Qué es un mecanismo de agarre?

El dispositivo de conexión entre el robot y la carga u objeto a manipular se conoce como pinza. Generalmente la pinza en la industria es un dispositivo específico que se usa para manipular solamente uno o unos pocos objetos de forma similar, tamaño y peso en una operación repetitiva. **Con solo cambiar una de estas características se debe cambiar la pinza. [6]**

El elemento humano más típico a la hora de referenciar una acción de agarre y manipulación de elementos es la mano.

Muchos estudios reducen la compleja cantidad de articulaciones y 22 grados de libertad que conforman la mano y muñeca a un sistema de sujeción de dos dedos Este será nuestro caso.

**De estudios estadísticos realizados resulta que el 60 a 70% de los agarres usados para tomar objetos de forma regular como la cilíndrica, paralelepípedo y piramidal son realizados con modo de pinzas de dos dedos. [5]**

Este es uno de los motivos por el cual la pinza de dos dedos es la más difundida en las aplicaciones industriales y sobre todo en el montaje automatizado. En la actualidad se pueden encontrar pinzas de dos dedos, producidas por empresas dedicadas al proceso de automatización de rutinas industriales.

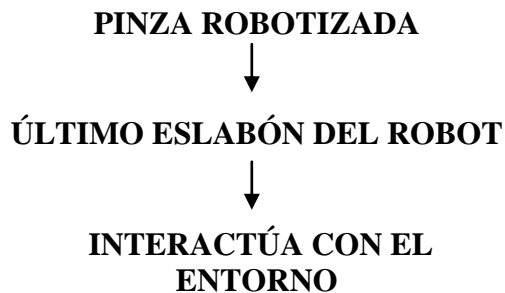
Estas proveen una gran variedad de pinzas en cuanto a sus diseños, diversos tipos de actuadores y funciones de las mismas, pero teniendo una gran tendencia a la utilización de los actuadores lineales de tipo neumático, sin descartar los actuadores de rotación, que pueden ser de tipo neumático o eléctrico. Una cadena cinemática une el comando con el dedo de la pinza, que en su generalidad responde a disposiciones de correderas y barras articuladas con movimiento roto-traslacional. Por lo dicho existe una gran variedad de pinzas las cuales para poder ser seleccionadas o diseñadas es necesaria una calificación que las ordene por determinadas características cualitativas y cuantitativas.



**Pinza robotizada**

¿Qué es una pinza robotizada?

Es un dispositivo en el extremo de un brazo robótico, diseñado para interactuar con el medio ambiente. El tipo concreto de naturaleza del dispositivo dependerá de la aplicación del robot.[5]



**Figura 3. Pinza de dos dedos [ 5]**

Es en el último eslabón donde se adjuntarán o bien las herramientas que permitirán realizar las operaciones para las cuales ha sido diseñado, o bien pinzas de dos, tres o incluso cinco dedos si así lo requiere la situación

Las pinzas robotizadas se usan como herramientas para diversos fines.

A continuación se detallan algunos ejemplos:

- Aplicaciones de industriales: Soldadura por puntos en un ensamblaje, pintura a pistola, aplicaciones de ensamblaje de cadenas de producción
- Actividades donde las condiciones de trabajo supongan un peligro para el ser humano.
- Actividades que requieran máxima precisión, como puede ser para la realización de cirugías



**Figura 4. Aplicación de la robótica a cadenas de montaje [5]**



**Figura 5. Aplicación de la robótica a procesos de soldadura [7]**



**Figura 6. Aplicación de la robótica en la medicina. [8]**

*¿Cómo funciona el mecanismo de agarre?*

En general, el mecanismo de sujeción se realiza a través de dedos mecánicos. El número de dedos es variable dependiendo de una serie de factores de diseño que se detallarán más adelante

Una de las mayores ventajas de este tipo de mecanismo de sujeción a través de la implantación de dedos mecánicos, es la opción de reemplazar los dedos, dependiendo de las condiciones de entorno en caractericen nuestra situación

El desgaste gradual de los dedos hace que estos puedan ser sustituidos sin tener que reemplazar las pinzas.

**El último eslabón de nuestro robot estará compuesto de dos mecanismos de agarre.**

- 1 - El existente entre pinza- dedo.**
- 2 - El existente entre dedo-objeto.**

- **Tipología**

En función del conjunto de características que definan nuestra situación de agarre, existen una amplia gama de posibilidades de mecanismos de sujeción, clasificadas según diferentes parámetros de evaluación, tanto cualitativos, como cuantitativos

A continuación se presenta una serie de clasificaciones, alineadas todas ellas un concepto común:

**El elemento más importante en la pinza es el mecanismo utilizado para el movimiento del dedo. [5]**

**A. En función del sistema de sujeción:**

- Pinza de presión:
  - Desplazamiento angular: Los dedos de la pinza realizan un movimiento de pivotaje en relación a puntos fijos.
  - Desplazamiento lineal: Movimiento de apertura y cierre entre dedos, ejecutando un movimiento paralelo entre sí.
- Pinza de enganche
- Ventosa de vacío
- Electroimán

**B. En función del principio de accionamiento**

- Pinzas mecánicas: los mecanismos de accionamiento mecánico son aquellos compuestos por dedos para agarrar el objeto, siendo la fuerza de agarre por contacto y fricción mecánica.
- Vacío y acción magnética: las pinzas de vacío están constituidas por ventosas y la fuerza de agarre del objeto es producida por la succión en estas. Las magnéticas son aquellas que sujetan al objeto mediante una fuerza de acción electromagnética.
- Universal: Compuestas por múltiples garras de materiales blandos intentando imitar lo máximo posible una mano.



**Figura 7. Pinza de enganche [9]**

A modo de resumen de las dos primeras clasificaciones, podemos elaborar la siguiente tabla:

Sistemas sujeción –accionamiento –aplicaciones para robots		
<b>- Pinza de presión - Desplazamiento angular / lineal</b>	Neumático o eléctrico	Pinzas para manipulación de elementos donde no importa llevar a cabo procesos de sujeción ejerciendo presión
<b>Pinza de enganche</b>	Neumático o eléctrico	Elementos de grandes dimensiones o sobre las que no se puede llevar a cabo procesos de sujeción ejerciendo presión
<b>Ventosa de vacío</b>	Neumático	Elementos con superficies poco porosas
<b>Electroimán</b>	Eléctrico	Piezas ferro- magnéticas

**Tabla 2. Esquema sistema de sujeción-accionamiento.**

***C. En función de la forma del objeto y la zona de agarre***

- De acción interna: los objetos disponen de agujeros por donde se agarran.
- De acción externa: referido a objetos que no poseen agujeros donde poder ser agarrados.

***D. En función del movimiento de la garra***

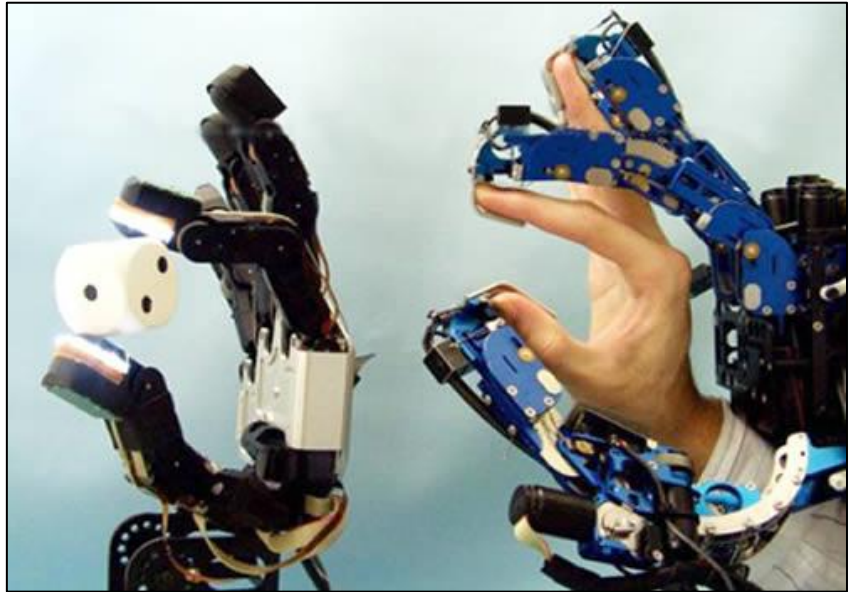
- Traslación.
- Rotación.
- Traslación y rotación.

Las garras, en su recorrido de aproximación al objeto pueden hacerlo con un desplazamiento paralelo a sí mismo o mediante uno de rotación respecto a un punto fijo de la pinza. Además, puede utilizarse un movimiento compuesto de traslación y rotación combinadas. [5]

***E. En función de los componentes cinemáticos del mecanismo de conducción***

- Barras: las estructuras de barras pueden tener dos o tres puntos de articulación
- Piñón-cremallera: el elemento de entrada permite un movimiento de la garra paralelo o de oscilación.
- Levas: permiten movimientos de la garra por traslación
- Tornillo: el mecanismo es constituido únicamente por tornillo.
- Cable y polea





## Capítulo 4

# Fuerzas en las pinzas

---

### 4.1 Introducción

El análisis dinámico de nuestro prototipo de gripper retráctil es uno de los objetivos básicos de este proyecto.

Por ello y previo a aplicar cualquier método analítico que nos permita realizar un estudio dinámico de nuestro modelo, se hace necesario un estudio teórico de las fuerzas en los grippers.

Existe una amplia variedad de fuerzas que aparecen en los grippers debido a la propia operación de sujeción que realizará el mecanismo.

Los factores de influencia y variables básicas relacionadas con la selección de piezas desde el punto teórico, o las cargas puntuales debidas al contacto existente en el proceso de sujeción son algunos de los puntos que se tratarán a lo largo de este capítulo.

Viendo la importancia del proceso de sujeción y de las consecuencias dinámicas de mismo, una parte importante de este análisis de fuerzas en los grippers, está enfocado en las mandíbulas como elementos finales de contacto entre el mecanismo retráctil y la pieza a sujetar.

A través de la tercera Ley de Newton, podremos desarrollar un estudio teórico de las fuerzas de rozamiento presentes en los movimientos realizados por la garra, así como las Situaciones de la fuerza durante el movimiento de la misma

## **4.2 Fuerzas en los Grippers. Análisis y tipología**

El mecanismo de agarre supone al final, una continuación entre la maquina manipuladora y la pieza que se desee sujetar.

“Las pinzas complementan y mejoran el rendimiento de los dispositivos de manipulación automática” [10]

Elegir que pinza se debe elegir y aplicar a un proceso determinado de sujeción no siempre es sencillo.

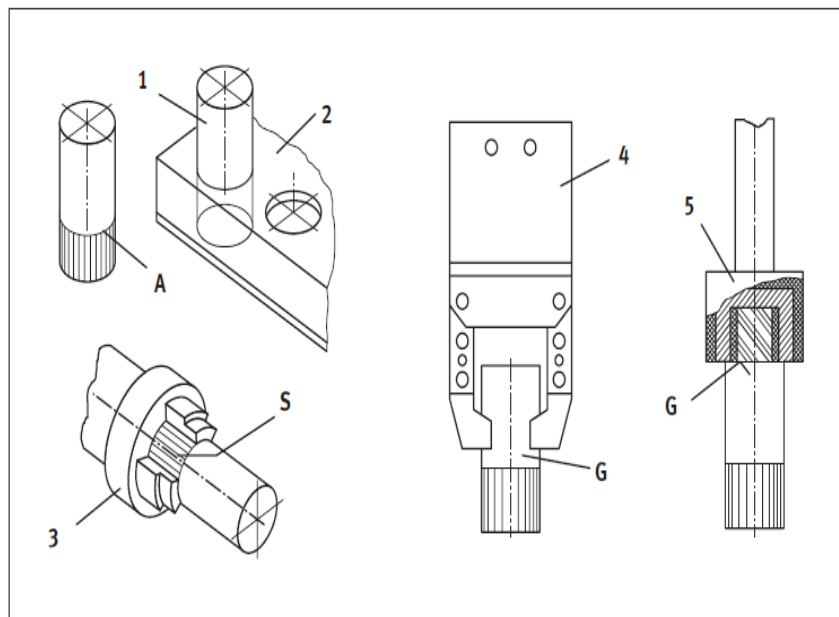
La solución a una tarea de sujeción puede definirse en términos de requerimientos tecnológicos, (tiempo disponible para realizar la operación de pinzado, el recorrido que deberá realizar la pinza, y número de objetos a sujetar en un mismo instante de tiempo) parámetros de la pieza, la máquina a utilizar para la manipulación y las condiciones ambientales.

Los parámetros más importantes del objeto son su masa, forma, dimensiones y tolerancias, la posición del centro de gravedad, estabilidad, propiedades superficiales, material, rigidez y temperatura. [10]

Es importante tener en cuenta aquellas partes de la pieza por donde se podrá llevar a cabo la operación de pinzado, o aquellas otras partes que no se podrán tocar, evitando así posibles marcas o señales físicas en la pieza que deterioren la calidad superficial.

Una secuencia de alimentación podría también imponer limitaciones. Esto puede verse claramente en este ejemplo:





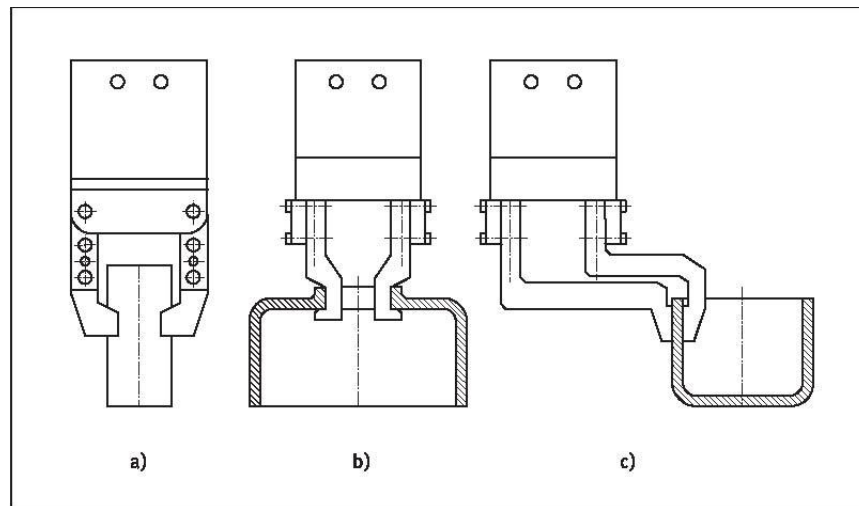
**Figura 8. Zona de pinzado, sujeción y asentamiento [10]**

- 1-Piezas
- 2-Cargador
- 3-Dispositivo de sujeción
- 4-Pinza
- 5-Pinza magnética

Hay que levantar una pieza y colocarla en posición de sujeción. La pieza no puede tomarse por la zona de sujeción S, ya que queda cubierta por el cargador. En la zona de pinzado disponible hay que considerar el hecho que la pieza puede deslizarse de la posición deseada. Por ello debemos definir obligatoriamente para cada pieza, por qué zonas se podrá llevar a cabo la operación de pinzado.

El hecho de realizar un pinzado interno o externo es otro factor que delimita la fuerza necesaria para el proceso de sujeción.

La sujeción externa generalmente precisa más espacio alrededor de la pinza. [10]



**Figura 9. Sujeción interna para piezas huecas [10]**

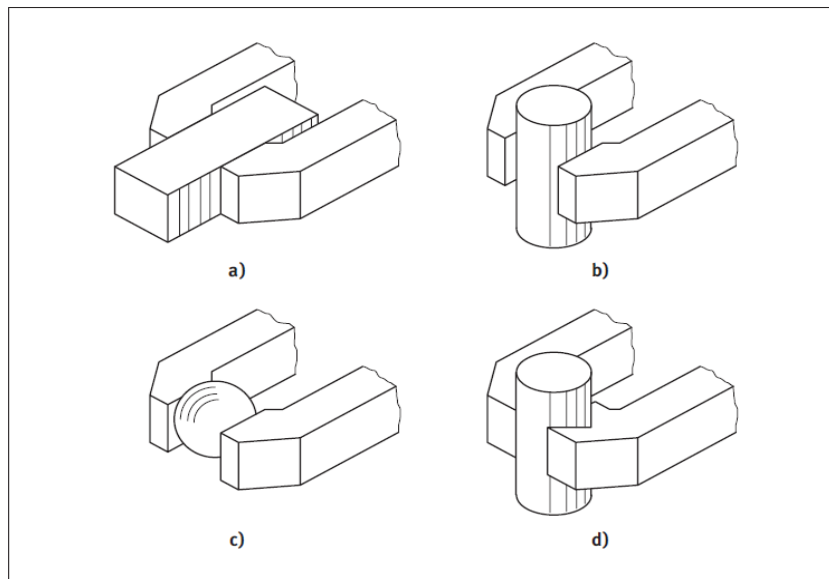
- **Cargas puntuales debidas al proceso de sujeción**

Muchas piezas, debido a determinadas características superficiales pueden dañarse por aquellas pinzas cuya sujeción suponga la aplicación de una carga puntual.

Hay muchas piezas que pueden soportar la fuerza de sujeción necesaria sin sufrir daños, pero también hay otras piezas que, por ejemplo, están pulidas, son de pared delgada, blandas, frágiles o con acabados finísimos que pueden dañarse durante el pinzado [10]

Estos de tipos de carga puntual, producidos en el proceso de sujeción de un objeto, pueden dividirse en cuatro grupos claramente diferenciados en la imagen que se detallada a continuación

- a) Superficie / superficie
- b) Línea / superficie
- c) Punto / superficie
- d) Doble línea / superficie



**Figura 10. Tipos de carga puntual debido a la sujeción [10]**

Se considera una carga puntual, a toda fuerza de contacto por unidad de zona de pinzado que resulta de la propia sujeción

En el punto de contacto se produce una deformación. Sin embargo, no hay que suponer que la fuerza de contacto sea la misma que la fuerza de cierre de la pinza. Las pinzas en forma de V, por ejemplo, reparten las fuerzas. La gravedad también puede ser un factor, según la orientación de la pinza, como puede serlo el coeficiente de rozamiento  $\mu$  [10]

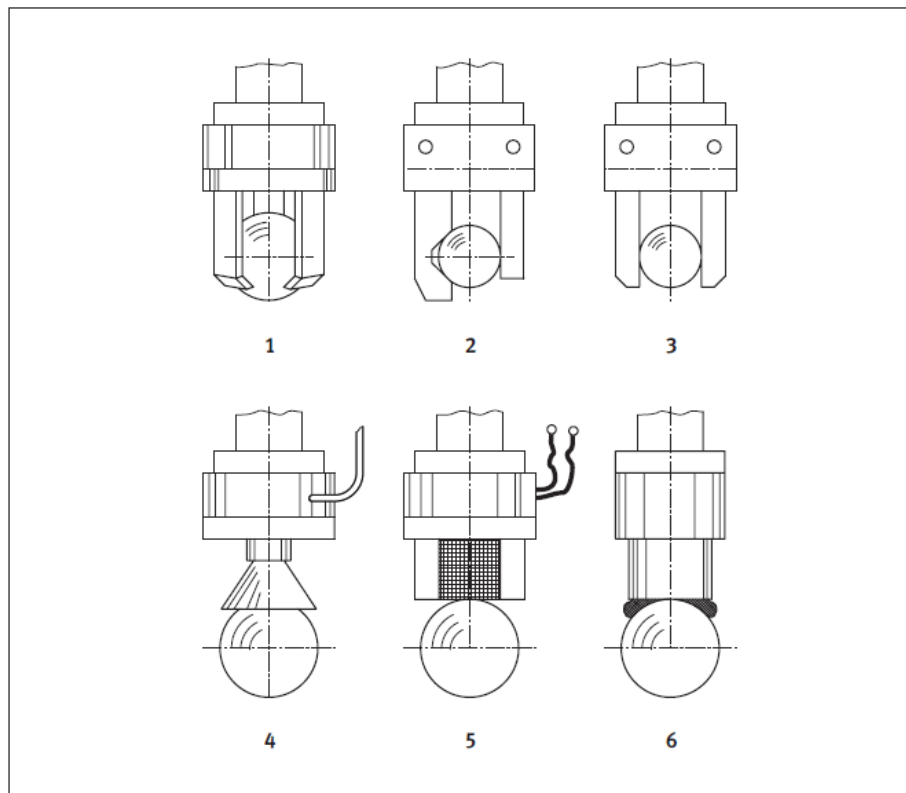
Cuando se trata de posicionar objetos con precisión, las personas confiamos en nuestra coordinación ojo/mano y conseguimos sin dificultad, por ejemplo, enhebrar una aguja. El pinzado mecánico debe ser igual de preciso y sin problema alguno.

Pueden surgir dificultades en tres situaciones:

- En el momento de tomar la pieza
- En el momento de alinearla con el dispositivo de pinzado
- Al depositarla en una determinada posición.

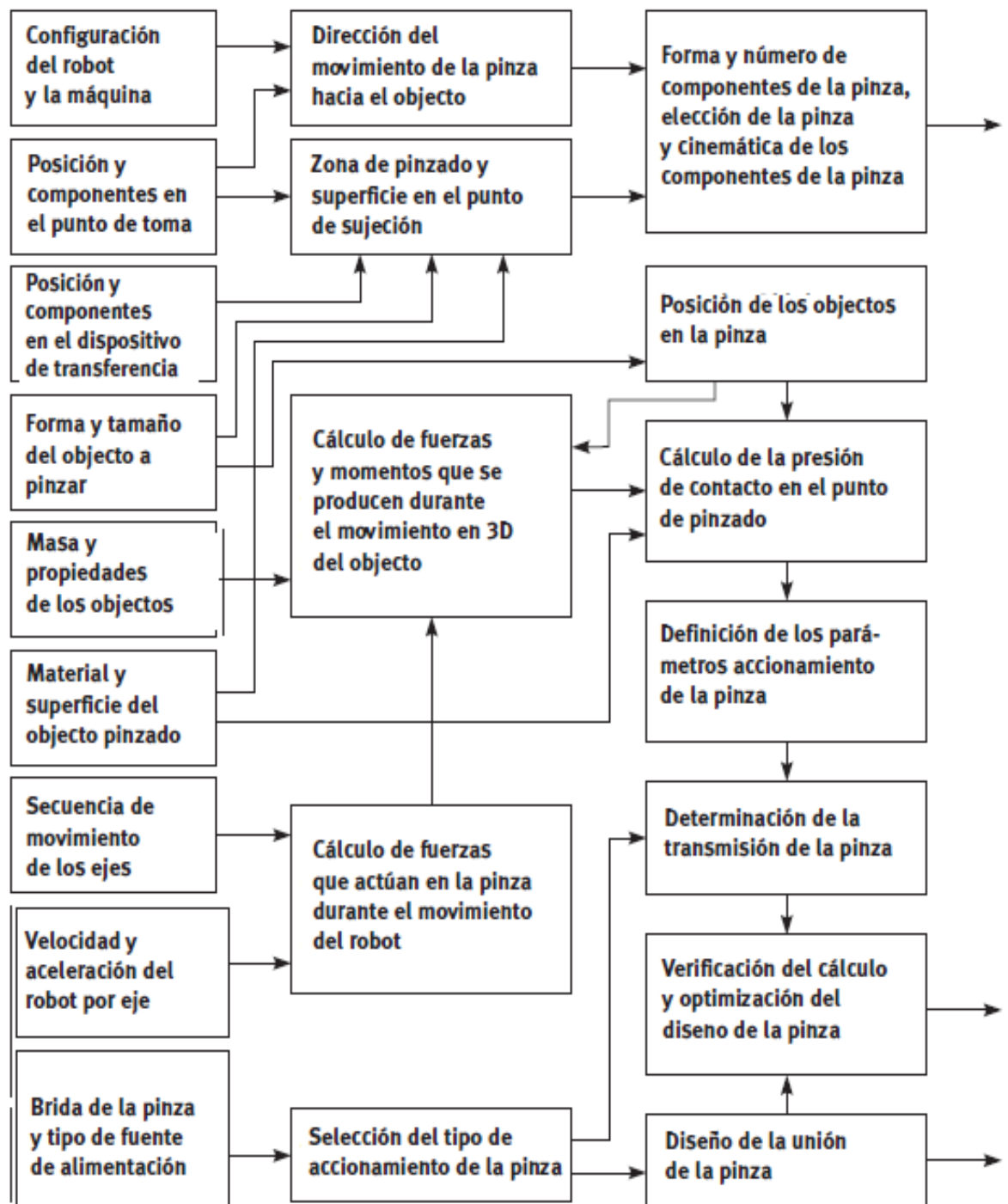
- **Métodos de sujeción. Campos de fuerza.**

- 1- Cierre sin pinzado
- 2- Cierre parcial (combinado con fuerza de pinzado)
- 3- Sólo por pinzado
- 4- Sujeción con succión
- 5- Sujeción con campo magnético
- 6- Sujeción con capa de adhesión



**Figura 11. Sistemas de sujeción [10]**

- *Factores de influencia y variables básicas relacionadas con la selección de pinzas desde el punto de vista técnico.*



**Figura 12.**Esquema-Factores de influencia en la selección de una pinza. [10]

- Correlación adecuada entre los objetos y los tipos de pinzas.

- Ideal  
 ⊙ AdeCuado  
 ○ AdeCuado en ciertos CaSoS  
 — No aplicable






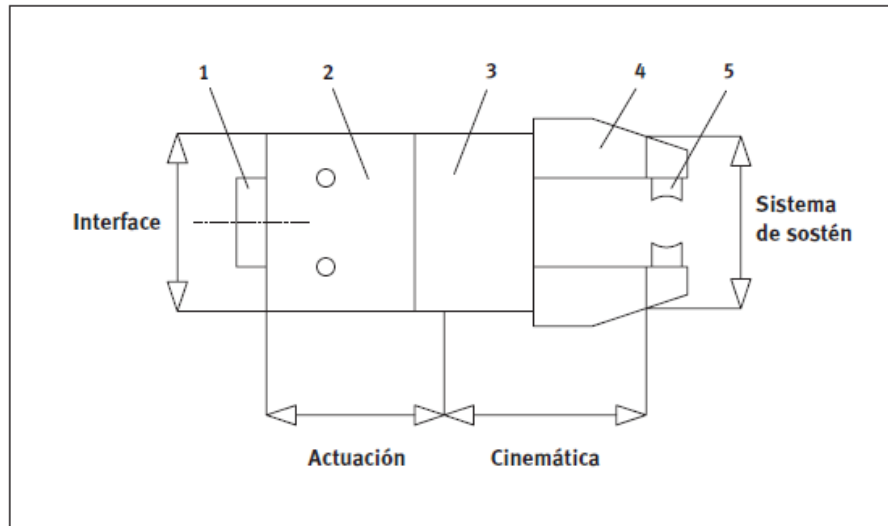
Tipos de pinzas						
Objetos						
Masa	0,2 ... 1 kg	●	●	●	●	●
	1 ... 10 kg	●	○	●	●	●
	10 ... 50 kg	⊙	—	●	●	●
	> 50 kg	○	—	●	●	●
Dimensiones	20 ... 50 mm	●	●	●	●	●
	50 ... 300 mm	●	○	●	⊙	●
	300 ... 1000 mm	●	—	●	○	●
	> 1000 mm	●	—	●	—	●
Sujeción interna		●	—	○	●	—
Superf.	Lisa	●	●	●	●	●
	Rugosa	●	●	●	●	—
	Porosa	●	○	○	○	○
	Sensible	○	—	—	○	●
Piezas redond.	Disco	⊙	●	—	●	●
	Cilindro corto	●	●	●	●	●
	Eje/vástago	⊙	—	●	—	—
Prismas	Bloque	●	●	●	—	●
	Plano/corto	○	●	○	—	●
	Plano/largo	—	—	○	—	●
Plásticos		●	○	○	—	●
Textiles		—	—	—	—	○
Láminas		—	—	—	—	⊙
Vidrio		○	⊙	⊙	⊙	●
Cerámica		○	⊙	⊙	⊙	○

Tabla 3. Correlaciones [11]

- **Mandíbulas**

Componentes separados e intercambiables que proporcionan un contacto amoldado o por fuerza con una pieza y la sostienen en su sitio.



**Figura 13. Componentes de un sistema de pinzado [10]**

1-Adaptador

2-Generador de fuerza

3-Convertor de fuerza

4-Transmisión de la fuerza con dedos como componentes de la transmisión

5-Mandíbulas como componentes del pinzado

**Los “dedos” son componentes rígidos, elásticos o articulados que transmiten la fuerza y que se sitúan alrededor de la pieza. [10]**

Las mandíbulas se fijan sobre los dedos utilizando un sistema de unión fijo o con un cierto movimiento.

¿Qué es necesario conocer a la hora de diseñar una mandíbula?

El factor determinante a la hora de realizar mi diseño será conocer aquellos puntos por los que se sujetará la pieza.

La Fig. 14 ilustra el ejemplo de una pinza de dos dedos.

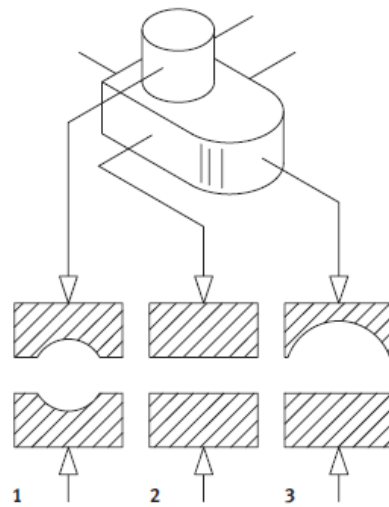


Figura 14.El contorno de la zona de pinzado determina la forma de la mandíbula utilizada, 1,2, o 3. [10]

**NUESTRO CASO: SUJECCIÓN POR FUERZA DE APRIETE.**

$$F = m \cdot g / \mu$$

- Variación del diámetro en la pieza.

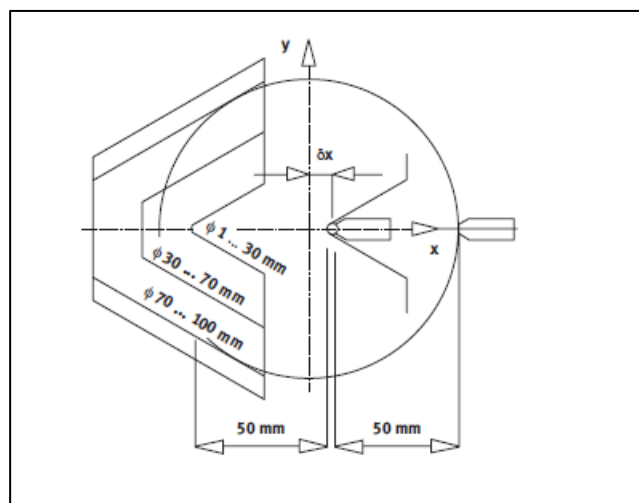


Figura 15.Mandíbula de una pinza paralela para 3 márgenes de diámetros [11]



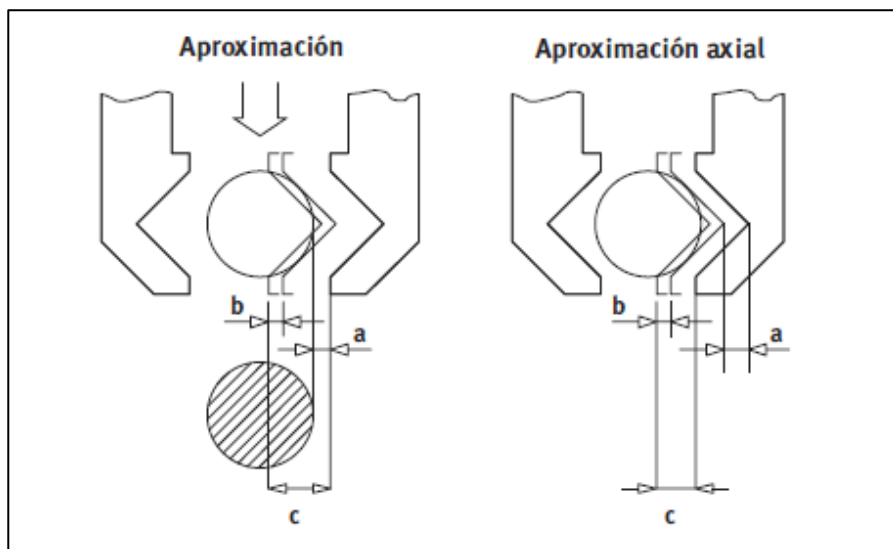
Siempre se necesita un margen de seguridad de apertura A y un margen de seguridad de cierre B.

Esto compensa las tolerancias y proporciona la holgura necesaria.

Al seleccionar la forma de las mandíbulas de las pinzas, debe darse una holgura según la forma de aproximación de la pinza a la pieza, ya que puede influir en la carrera necesaria.

La aproximación puede ser axial o radial, en general siendo las características técnicas las que lo determinan.

La siguiente figura muestra dos casos, tomando el ejemplo de las mandíbulas en forma de V, que requieren diferentes carreras de pinzado “C” para la misma pieza.



**Figura 16. Condiciones de pinzado [10]**

- a) Margen de seguridad de apertura
- b) Margen de seguridad de cierre
- c) Carrera necesaria de la mandíbula

- **Tercera Ley de Newton**

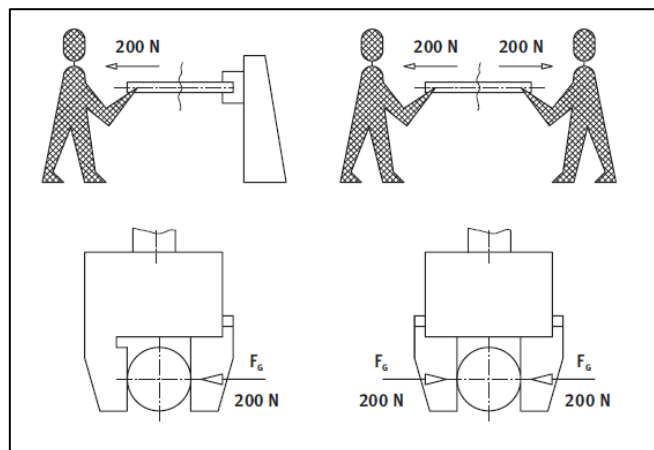
**“Las acciones de dos cuerpos entre si son siempre iguales y en sentido opuesto es decir , la reaccion es siempre igual y opuesta a la accion”**

Isaac Newton , Philosophiae Naturalis Principia , 1687

La misión principal de una pinza es la de sostener objetos de forma segura durante un cierto tiempo. Las pinzas utilizan el principio de sujeción por fuerza, de las que trataremos aquí, se necesitan para contrarrestar los esfuerzos dinámicos y estáticos, así como los pares que se producen durante una secuencia de movimientos.

**LA FUERZA DE SUJECIÓN NECESARIA SERÁ EL CRITERIO DETERMINANTE PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO Y TAMAÑO DE PINZA**

Debido a la fuerza de acción – reacción en las pinzas paralelas no importa si la fuerza de pinzado  $F_g$  es aplicada por uno de los dedos o ambos.

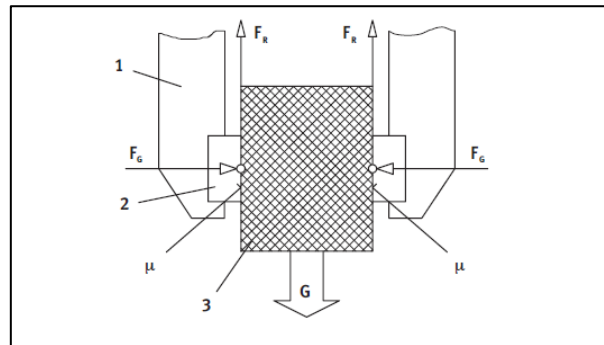


**Figura 17. Interacción de fuerzas [10]**

- **Fuerzas de rozamiento**

Crean un efecto de sostenimiento

Desde el punto de vista del rozamiento, la fuerza de sujeción actúa como una fuerza normal. La verdadera función de sujeción la realizan las fuerzas de rozamiento  $F_r$ , que se crean según la ley de rozamiento de Coulomb, en una dirección opuesta a la de movimiento y opuesta a la  $G$  debida al peso del objeto sujetado. [10]



**Figura 18.**Función simple de sujeción

- 1- Dedo
- 2- Mandíbula
- 3- Pinza
- 4-  $\mu$  = coeficiente de rozamiento

Expresión de la fuerza de sujeción:

$$F_G = \frac{m \cdot G}{\mu \cdot n}$$

Variables en la fórmula:

$F_G$  = Fuerza mínima requerida de sujeción en N

$G$  = Fuerza debida al peso del objeto en N

$g$  = Aceleración de la gravedad en  $m/s^2$

$m$  = Masa de la pieza en kg

$n$  = Número de dedos o mandíbulas

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento entre la mandíbula y el objeto.

**Figura 19.**Expresión de la fuerza de sujeción [10]

Como vemos, en la fórmula se considera el número de dedos ya que se crea una fuerza de rozamiento  $F_r$  en cada mandíbula. Con tres puntos de contacto,  $n=3$ , La figura muestra una pinza de tres dedos y una solución basada en una pinza de dos dedos. En este último caso, la fuerza de pinzado se reparte en la mandíbula V en fuerzas de contacto  $F_r$

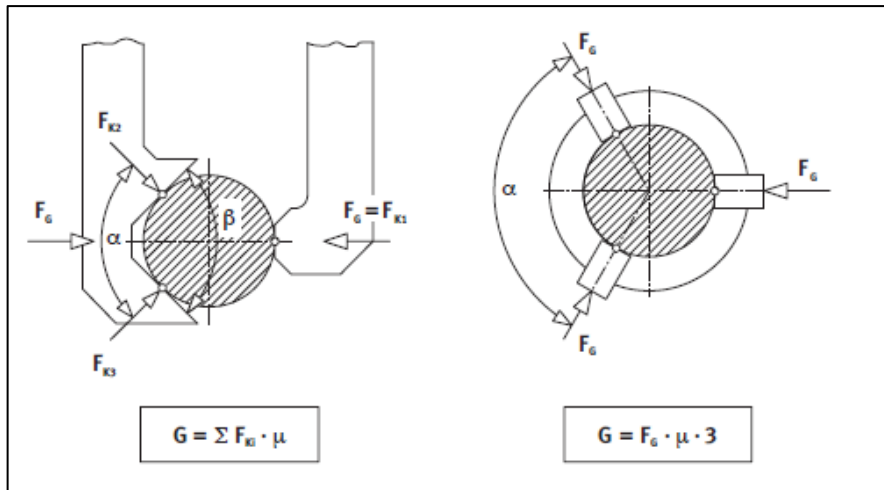


Figura 20. Vista en planta de dos situaciones de pinzado.  
a) Pinza de dos dedos con mandíbulas en V, b) Pinza de tres dedos [10]

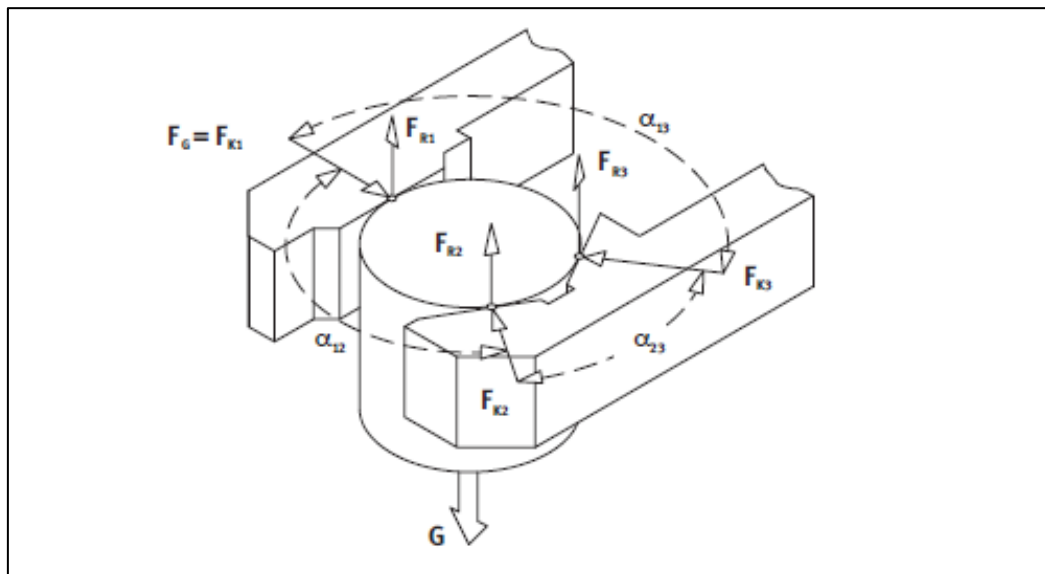


Figura 21. Representación gráfica de las fuerzas de contacto para mandíbulas en V con 3-4 puntos de contacto [10]

- Situaciones de fuerza durante el movimiento de la pinza.

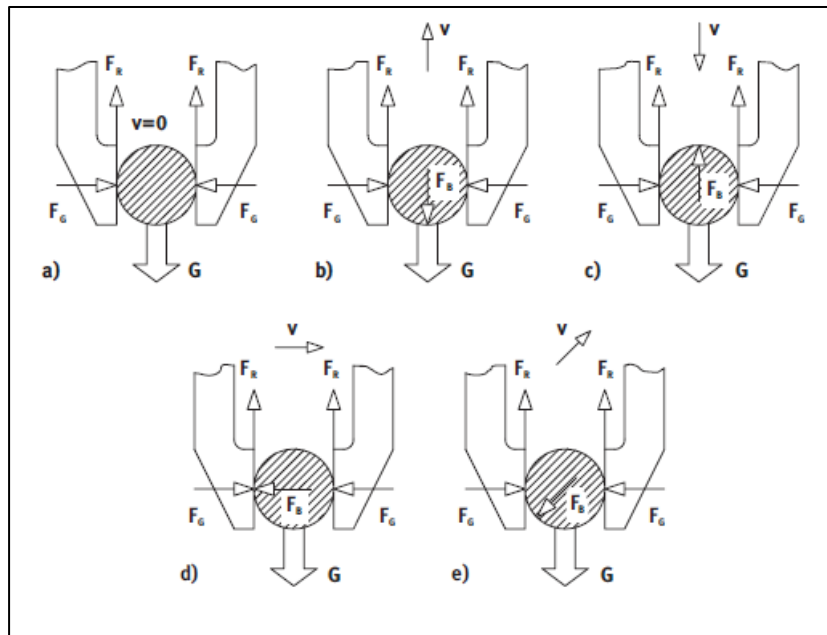


Figura 22. a) En reposo b) En movimiento ascendente  
c) En movimiento descendente d) En movimiento lateral  
e) En movimiento ascendente inclinado [10]

- Valores críticos. Paro de emergencia.

Cabe destacar, que en las especificaciones técnicas del catálogo, se hace referencia a los valores críticos que no son los de las condiciones normales, sino los de las situaciones excepcionales → **PARADA DE EMERGENCIA.**

En por ello, que los mecanismos de agarre deben seleccionarse en base a situaciones en de **PARO DE EMERGENCIA** ya que en estas situaciones cuando se hace imprescindible que la pieza continúe siendo sujeta por la pinza y no se detenga el proceso de agarre.

Los mayores valores de aceleración (en realidad, valores de deceleración) se producen durante paro de emergencia

En el caso de un movimiento ascendente, la fuerza  $G$  debida al peso y la fuerza debida a la inercia  $F_b$  pueden ser compensadas por las fuerzas de rozamiento  $F_r$ .

Durante el movimiento de descenso, la fuerza de inercia actúa oponiéndose a la fuerza debida al peso y hace que la pieza sea realmente “más ligera”

Sin embargo, durante la fase de frenado se produce una fuerza de deceleración. En el caso de movimientos laterales, la fuerza de la inercia es absorbida por la forma de las mandíbulas, lo que no exige fuerzas de rozamiento adicionales

Las fuerzas de inercia pueden calcularse, en general, como sigue:

$$F_B = m \cdot a$$

o en el caso de movimientos rotativos:

$$F_B = m \cdot r \cdot \varepsilon$$

Términos utilizados en las fórmulas citadas:

$a$  = Aceleración lineal en  $m/s^2$

$m$  = Masa del objeto manipulado en kg

$r$  = Distancia al punto de giro en m

$\varepsilon$  = Aceleración angular en  $rad/s^{-1}$ .

**Figura 23. Expresión-Fuerza de inercia [10]**

A continuación se ilustra un ejemplo de cálculo de fuerzas de sujeción en condiciones de elevación, recorrido lateral y paro de emergencia para unos valores experimentales concretos.

Cabe destacar que los valores obtenidos en este ejemplo sólo sirven para la combinación de parámetros utilizada en este caso.

Fuerza de sujeción durante la elevación:

$$F_G = \frac{m(g + a) \cdot S}{\mu \cdot n} = \frac{1 \cdot (9,81 + 5) \cdot 2}{0,2 \cdot 2} = 74N$$

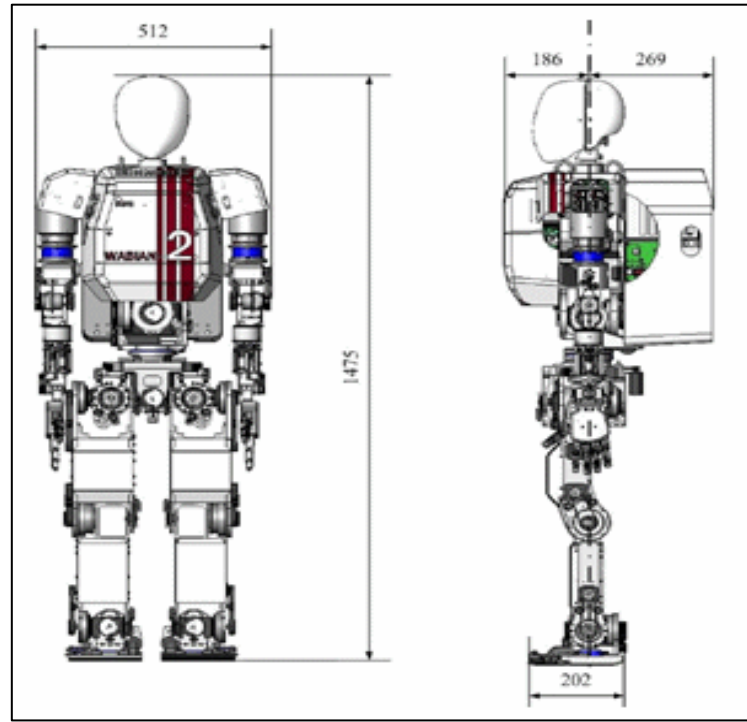
Fuerza de sujeción durante el recorrido lateral:

$$F_G = \frac{m \cdot g \cdot S}{\mu \cdot n} + m \cdot a = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 2}{0,2 \cdot 2} + 1 \cdot 5 = 54N$$

Fuerza de sujeción hacia abajo durante el PARO DE EMERGENCIA (tras la fase de aceleración):

$$F_G = \frac{m \cdot (g + a_N) \cdot S}{\mu \cdot n} = \frac{1 \cdot (9,81 + 10) \cdot 2}{0,2 \cdot 2} = 99N$$

**Figura 24. Expresión fuerza de inercia-Ejemplo: parada de emergencia [10]**



## Capítulo 5

# Diseño. Parámetros y metodología

---

### 5.1 Introducción

Se debe prestar especial atención al movimiento que realiza la garra al aproximarse al objeto, pues de ella dependerá: la forma de agarre, su condición de equilibrio del agarre frente a posibles errores de posicionado, perturbaciones exteriores, características de fuerza y posibilidades de movimiento que posea el objeto respecto de la pinza

En este capítulo, se pretende abordar todos los parámetros involucrados en el diseño de nuestro mecanismo de agarre.

Las opciones de movimiento, así como la carga máxima de la pieza a sujetar, sus dimensiones, y el número de puntos de contacto, determinarán la morfología de nuestro gripper, permitiéndonos posteriormente, realizar el análisis dinámico y cinemático que se desarrollará en capítulos posteriores.

A lo largo del capítulo, se hará especial hincapié en la importancia de diferenciar los parámetros que me permitirán seleccionar mi mecanismo retráctil, y los parámetros de diseño posteriores que se deben aplicar a nuestra pinza una vez hayamos definido “qué pinza queremos”.

Como veremos, la importancia de un buen diseño dimensional tendrá influencia en la geometría del objeto agarrado y la fuerza aplicada sobre el mismo.

El capítulo queda dividido en tres secciones básicas.

En la primera, se detallan las opciones de movimiento que podemos elegir para nuestra garra y los pasos que tener en cuenta a la hora de diseñar nuestro mecanismo.

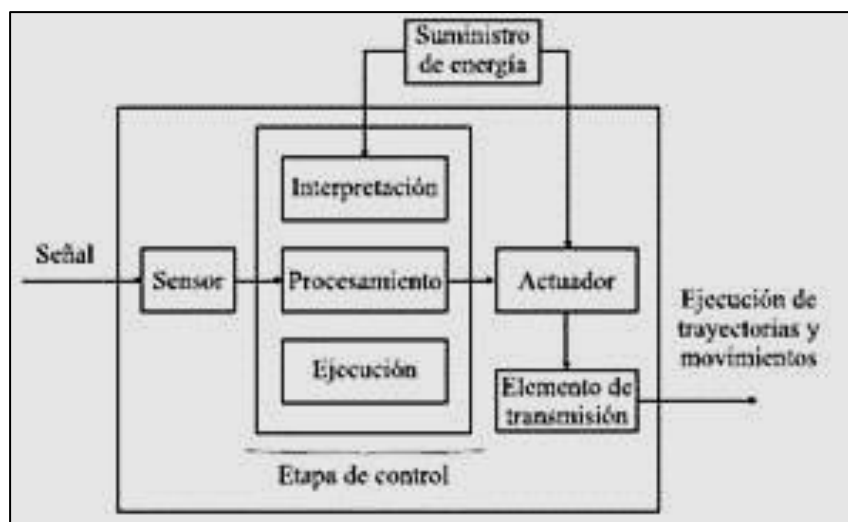
En la segunda parte se hará referencia al estudio de un elemento que nos permitirá generar el movimiento de todo nuestro mecanismo. Los actuadores.

Como veremos a continuación, los actuadores se dividen en tres grandes grupos, caracterizados cada uno de ellos por una serie de ventajas e inconvenientes que serán determinantes a la hora de elegir nuestro actuador.

En la última parte y no por ello menos importante, se referencia a toda la normativa vigente que debemos de tener en cuenta en cada uno de los pasos a dar en nuestro proceso de diseño.

Dentro de la Comunidad Europea, el mercado único obliga a los Estados miembros a promulgar legislación, que defina los requisitos de seguridad básicos y esenciales para las máquinas y su uso, de acuerdo a Directivas Europeas.

A todo ello, y otros muchos aspectos relacionados con las normativas actuales, se hará mención en la sección tres.



**Figura 25.** Ejemplo del proceso para la sujeción de un objeto de una mano robótica [12]



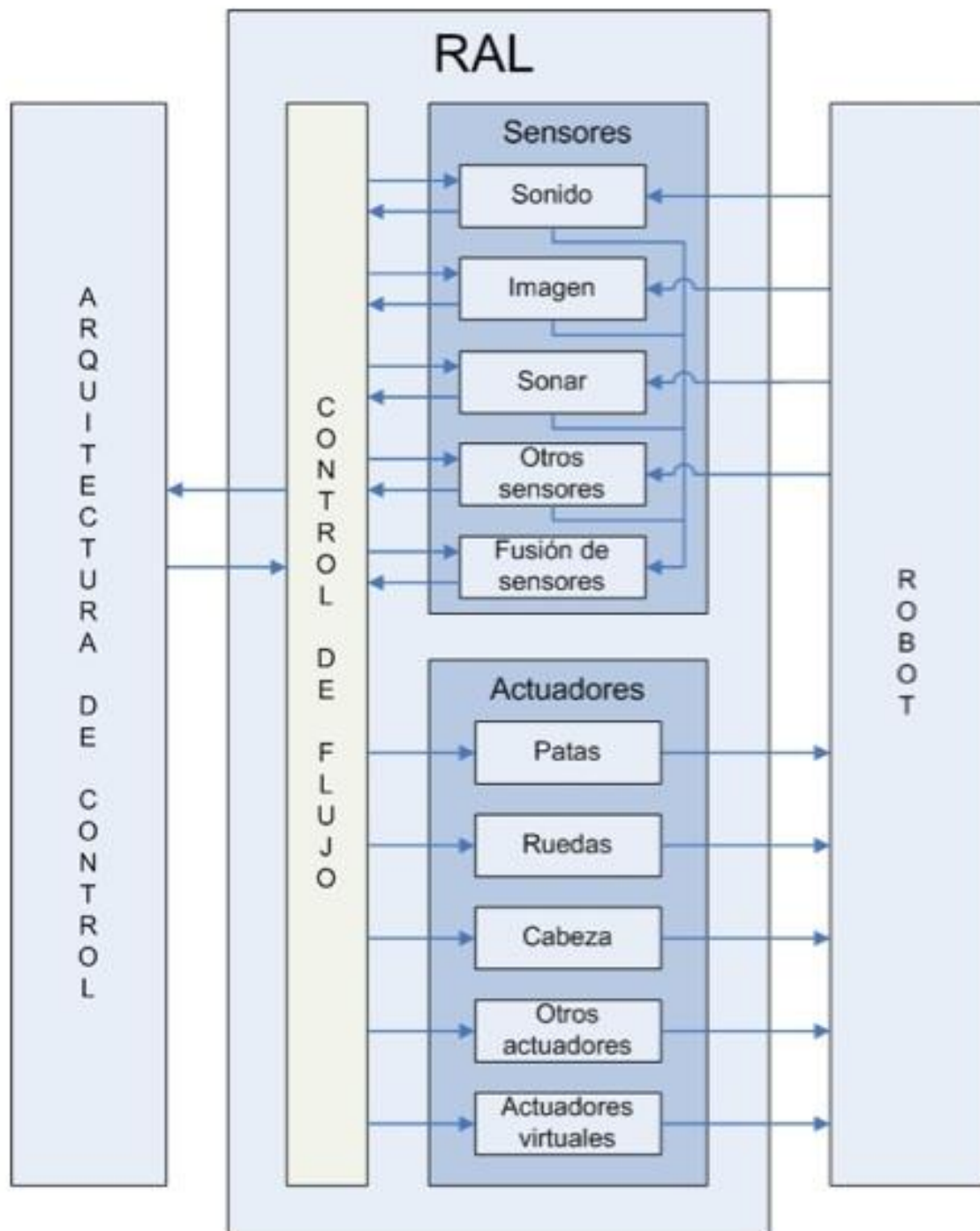


Figura 26. Esquema de una estructura de control [13]

## 5.2 Parámetros de diseño

- Opciones en el movimiento de la garra

Como resultado del análisis de las pinzas anteriores, se puede realizar una clasificación de los mecanismos de pinzas de dos dedos existentes en la industria, teniendo en cuenta el tipo de movimiento de los dedos para agarrar el objeto:

A. Movimiento de traslación paralela.

Desde el punto de vista del posicionamiento relativo entre pinza y objeto, el movimiento de traslación paralela permite posicionar la pinza abierta (para agarre externo) con su manipulador produciendo el cierre sin que la cota del punto de contacto previsto cambie debido al accionamiento de la pinza. Un error en el punto teórico de contacto del dedo con el objeto no produce variaciones en el agarre. [5]

La fuerza ejercida por el mecanismo de agarre es constante en cualquier punto de contacto. [5]

B. Movimiento de traslación en dos direcciones del dedo.

Una dirección paralela y otra perpendicular a la primera.

Desde el punto de vista de fuerza ejercida en el proceso de sujeción y agarre, el movimiento de traslación en dos direcciones se comporta igual que el movimiento de traslación paralela.

C. Movimiento de roto-traslación

En este caso el dedo debe ser unido rígidamente a una barra que tiene un movimiento general de biela el cual es de roto-traslación.

D. Movimiento de rotación alrededor de un punto fijo.

El dedo unido rígidamente a una barra es articulado a un punto fijo de la pinza y comandado por diversos tipos de mecanismos, describiendo cada punto del dedo una trayectoria circular con centro en la articulación.

[5]

En este caso, la fuerza de agarre se relaciona de manera inversamente proporcional a la distancia del punto de contacto respecto de la articulación del dedo.

En dicho punto llevará a cabo un movimiento de rotación.

- **Parámetros críticos**

Entre todos los problemas encontrados, el más importante está relacionado con los sistemas de agarre [14]. Las características básicas de un mecanismo de pinza dependen de diversos factores que hay que tener en cuenta:

- Carga máxima, dimensiones, orientaciones y número de puntos de contacto .
- Características físicas de la pieza agarrada. La geometría de nuestra pieza es fundamental ya que definirá la forma final de las pinzas.
- Propiedades mecánicas de nuestra pieza.
- Sistema de sujeción analizando si existe más de una posibilidad.
- Fuerzas aplicadas por la pinza sobre la pieza. Para poder analizar la fuerza aplicada por la pinza, deberemos de tener en cuenta la cantidad de dedos que conforman nuestro mecanismo de agarre así como el tipo de unión entre pieza y pinza.  
La fuerza de sujeción FG es la fuerza que aplica cada dedo de una pinza.  
Al elegir una pinza debe determinarse la fuerza de sujeción necesaria para sujetar una pieza que tiene la masa  $m$  [kg] y, al mismo tiempo, para moverla con una aceleración  $a$  [m/s<sup>2</sup>].
- Aceleración máxima según el tipo de accionamiento
- Factor de seguridad recomendado según el mecanismo final seleccionado.
- Estudio de costes. Ante varias opciones de igual calidad funcional, el estudio de costes es un factor clave a la hora finalizar nuestra elección.

**Concepto clave en el diseño de los Grippers:**  
**Diferenciar entre parámetros para poder seleccionar, y parámetros de diseño que debemos proporcionar una vez hayamos seleccionado el tipo de pinza.**

Estas características son fundamentales desde un punto de vista práctico, ya que un buen diseño dimensional de los mecanismos de agarre tendrá gran influencia en la geometría del objeto agarrado y la fuerza aplicada.

- **El proceso de diseño. Pasos.**

El problema de diseño se basa en dimensionar todos los componentes de la pinza, con tal de asegurar un agarre adecuado y manipulación correcta, el proceso de diseño puede dividirse en los siguientes pasos:

- 1) Determinar las características básicas del objeto agarrado, en términos de dimensión, peso, forma, material, etc.
- 2) Clasificar los ambientes en los que trabaja, para planificar el movimiento durante la operación de agarre.
- 3) Evaluar la fuerza requerida, como función de la dimensión máxima del objeto agarrado. Se evalúa la máxima fuerza de agarre desde un punto de vista mecánico y/o estático.
- 4) Diseñar los contactos o puntos finales de las garras con el objeto en cuestión y sus sensores, en función del tamaño y la sensibilidad de los objetos.
- 5) Dimensionar el mecanismo de agarre, elegido a través de catálogos.
- 6) Diseñar todos los componentes necesarios para controlar la operación de agarre. En general, el diseño de pinzas de dos garras se puede expresar a través de fórmulas, creando un sistema analítico de ecuaciones para el diseño, las cuales expresan relaciones entre todos los componentes. Se abordará en capítulos posteriores
- 7) Seleccionar nuestro actuador que permita generar el movimiento de nuestro mecanismo



Figura 27. Planificación y ejecución de un proceso de mecanizado llevado a cabo por un robot. [15]

- **Actuadores. Selección del tipo de actuador.**

Los actuadores, generan el movimiento de los diferentes elementos de robot, como respuesta a las órdenes dadas por la unidad de control. Los actuadores utilizados en robótica pueden emplear energía neumática, hidráulica o eléctrica. Cada uno de estos sistemas presenta características diferentes, siendo preciso evaluarlas a la hora de seleccionar el tipo de actuador más conveniente. Las características a considerar son:

- Potencia
- Control
- Peso y volumen
- Precisión
- Velocidad
- Mantenimiento
- Costo

A continuación se examinan los tres tipos de actuadores mencionados, comparándolos en cuanto a las características anteriores.

Actuadores neumáticos:

En ellos la fuente de energía es aire a presión entre 5 y 10 bar. Existen dos tipos de neumáticos:

Cilindros neumáticos: mediante un proceso donde se genera una diferencia de presión, el actuador desplaza el émbolo, que se encuentra en el interior de un cilindro.

Dicho cilindro puede ser de simple o doble efecto dependiendo de las condiciones de retorno del émbolo a su posición inicial.

Motores neumáticos: Aquí se consigue el movimiento de rotación de un eje mediante aire a presión. [16]

Los dos tipos más usados son los motores de aletas rotativas y los motores de pistones axiales.

Debido a la compresibilidad del aire, los actuadores neumáticos no tienen un buen grado de precisión en el posicionamiento.

Todo tipo de accionamiento neumático deberá disponer de una instalación de aire comprimido, incluyendo: Compresor, sistema de distribución (tuberías, electroválvulas), filtros, secadores, etc. No obstante, estas instalaciones neumáticas son frecuentes y existen en muchas de las fábricas donde se da cierto grado de automatización.



**Figura 28. Actuador neumático [16]**

### Actuadores Hidráulicos:

Funcionan igual que los neumáticos con la única diferencia que en vez de aire, utilizan aceites minerales a presiones que oscilan entre los 50 y 100 bar, llegándose incluso a 300 bar.

Debido al grado de compresibilidad menor que presenta este tipo de fluidos en comparación con el aire, la precisión en el posicionamiento será mayor.



**Figura 29. Actuador hidráulico. [16]**

Por otra parte, este tipo de actuadores presenta estabilidad frente a cargas estáticas. Esto indica que el actuador es capaz de soportar cargas, como el peso o una presión ejercida sobre una superficie, sin aporte de energía (para mover el émbolo de un cilindro sería preciso vaciar éste de aceite). También es destacable su elevada capacidad de carga y relación potencia-peso, así como sus características de auto lubricación y robustez. [16]

Frente a estas ventajas existen también ciertos inconvenientes. Por ejemplo, las elevadas presiones a las que se trabaja propician la existencia de fugas de aceite a lo largo de la instalación. Asimismo, para los eléctricos, necesitando de equipos de filtrado de partículas, eliminación de aire, sistemas de refrigeración y unidades de control de distribución.

Actuadores Eléctricos:

- Las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos han hecho que sean los más usados en los robots industriales actuales. Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes:

➤ Motores de corriente continua (DC):

Controlados por inducido

Controlados por excitación

➤ Motores de corriente alterna (AC):

Síncronos

Asíncronos

Motores paso a paso



**Figura 30. Actuador eléctrico [16]**

A continuación se detalla una tabla de características de distintos tipos de actuadores para robots, analizando las condiciones energéticas necesarias para su funcionamiento, y las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos



	Neumático	Hidráulico	Eléctrico
<b>Energía</b>	Aire a presión (5-10 bar)	Aceite mineral (50-100 bar)	Corriente eléctrica
<b>Opciones</b>	Cilindros Motor de paletas Motor de pistón	Cilindros Motor de paletas Motor de pistones axiales	Corriente continua Corriente alterna Motor paso a paso
<b>Ventajas</b>	Baratos Rápidos Sencillos Robustos	Rápidos Alta relación potencia- peso Auto lubricantes Alta capacidad de carga Estabilidad frente a cargas estáticas	Precisos Fiabiles Fácil control Sencilla instalación Silenciosos
<b>Desventajas</b>	Dificultad de control continuo Instalación especial (compresor, filtros) Ruidoso	Difícil mantenimiento Instalación especial (filtros, eliminación de aire) Frecuentes fugas Caros	Potencia limitada

Tabla 4. Características actuadores [16]



Figura 31. Ejemplo prototipo mano robótica realizado mediante impresora 3D

- **Normativa**

A día de hoy, contamos con una amplia normativa internacional que recoge las recomendaciones para la seguridad en el uso de robots y manipuladores industriales. La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) es un ejemplo de organización no gubernamental que produce normas internacionales industriales y comerciales, que son adoptadas por los diferentes países en su marco normativo propio [17-21]

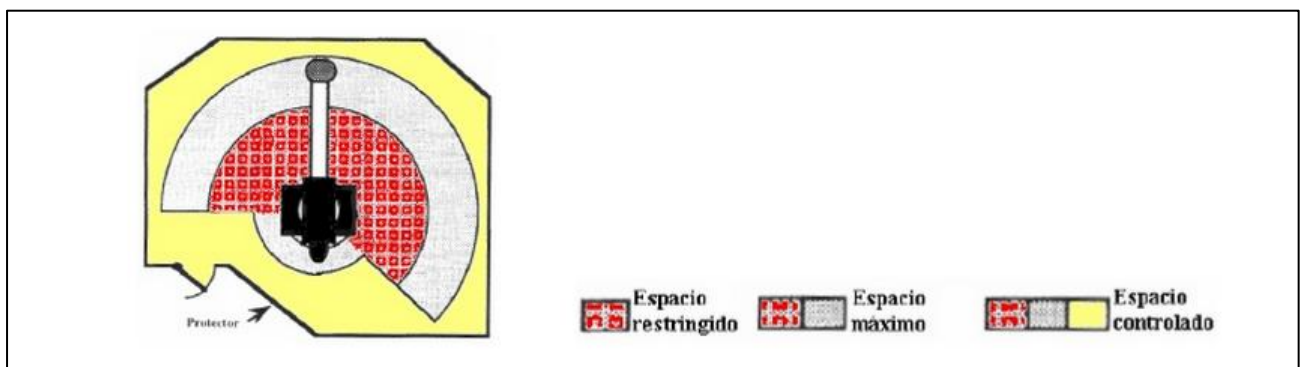
Dentro de la Comunidad Europea, el mercado único obliga a los Estados miembros a promulgar legislación, que defina los requisitos de seguridad básicos y esenciales para las máquinas y su uso, de acuerdo a Directivas Europeas.

Hay dos Directivas Europeas de relevancia directa para la seguridad de las máquinas y de los equipos industriales:

- Directiva de Máquinas dirigida a los suministradores
- Directiva de Uso de Equipos destinada a los usuarios de las máquinas.

En el marco normativo estadounidense existen múltiples organizaciones públicas y privadas que promueven la aparición de reglamentos en materia de seguridad industrial, como por ejemplo: ANSI (American National Standards Institute), ASME (American Society of Mechanical Engineers), OSHA (Occupational Safety and Health Administration), entre otras.

Todas estas normas internacionales, cuyo objetivo principal es evitar el contacto entre la máquina o robot y el operario, señalando diferentes áreas concéntricas según el riesgo existente en cada una de ellas, como se ilustra en la figura 29 que se muestra a continuación:



**Figura 32.**Ejemplo de clasificación del espacio de trabajo de un robot industrial [18]

**Espacio restringido:** porción del espacio máximo reducido por los dispositivos limitadores de recorrido, que establecen los límites que no pueden ser sobrepasados en caso de cualquier fallo previsible de la célula robotizada. Este espacio debe ser claramente visible e identificable.

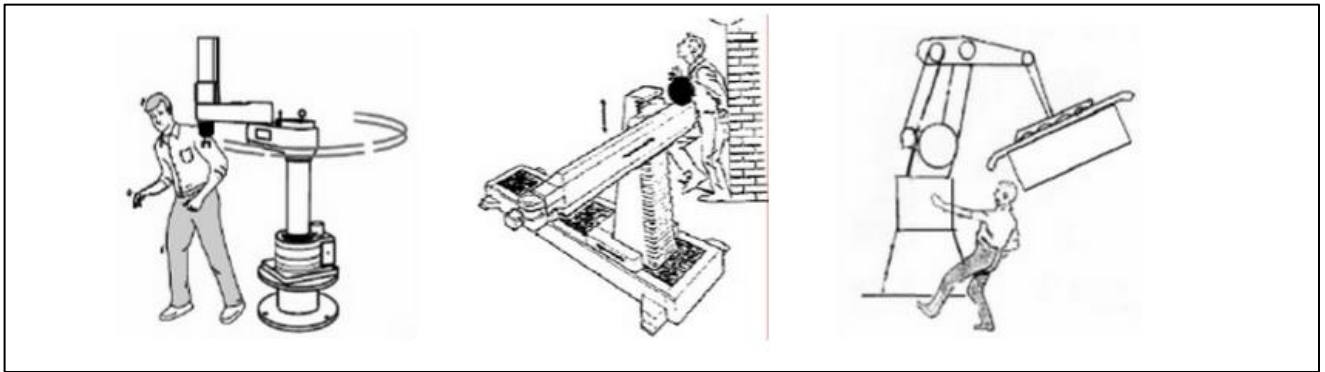
**Espacio de operación:** porción del espacio restringido que es barrido por el robot cuando éste ejecuta un programa.

**Riesgos mecánicos específicos en el uso máquinas.**

La variedad de máquinas hace que existan diversos orígenes de fallos que producen riesgos mecánicos, propios en las instalaciones automatizadas. Están asociados a los rápidos y/o imprevisibles movimientos y a que éstos pueden abarcar un campo de acción mayor del que parece a simple vista. Los principales riesgos son los siguientes:

- Riesgo de colisión entre el operario y la máquina.
- Riesgo de atrapamiento y aplastamiento del operario entre la máquina y un obstáculo fijo u otro componente móvil.
- Riesgo de alcance al operario por piezas que la máquina deje caer o proyecte.

Las normas europeas consideran en general que una máquina es segura, cuando dicha máquina pueda ser de modo continuo utilizada, regulada, mantenida, desmontada y retirada en las condiciones de uso previsto sin que cause lesiones o daños para la salud,. Se establece que las medidas de seguridad en robótica sean adoptadas preferiblemente la fase de diseño, a que sean incorporadas por el usuario [19]



**Figura 33. Ejemplos de situaciones de riesgo para operarios , según referencia de normativas [19]**

#### Dispositivos para la seguridad de máquinas industriales.

Los requisitos para el diseño seguro de máquinas, tienen en cuenta principalmente aspectos generales de fijación, estabilidad, limitación de carga y de movimientos, frenado, parada de emergencia, alimentación e iluminación.

Se establece que el sistema de mando debe presentar órganos de accionamiento dispuestos, identificados y protegidos de manera que se evite cualquier daño mecánico

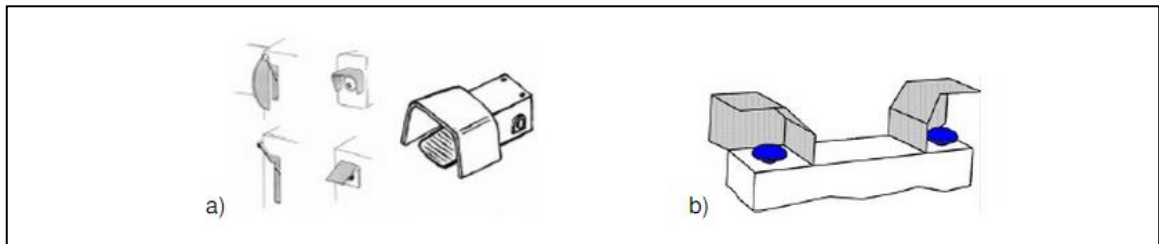
Adicionalmente, se emplean algunos componentes de seguridad, en función de la estimación del riesgo existente. Los resguardos son un conjunto de vallas o barreras que rodean a la máquina delimitando la zona peligrosa. Su función es impedir el acceso del operario a dicha zona mientras exista un riesgo elevado. Pueden ser fijos (barreras) o móviles (puertas).

Las barreras móviles son un tipo especial de puertas asociadas a un dispositivo de enclavamiento, de modo que hasta que la puerta no se encuentra cerrada, queda impedido el funcionamiento en modo automático.

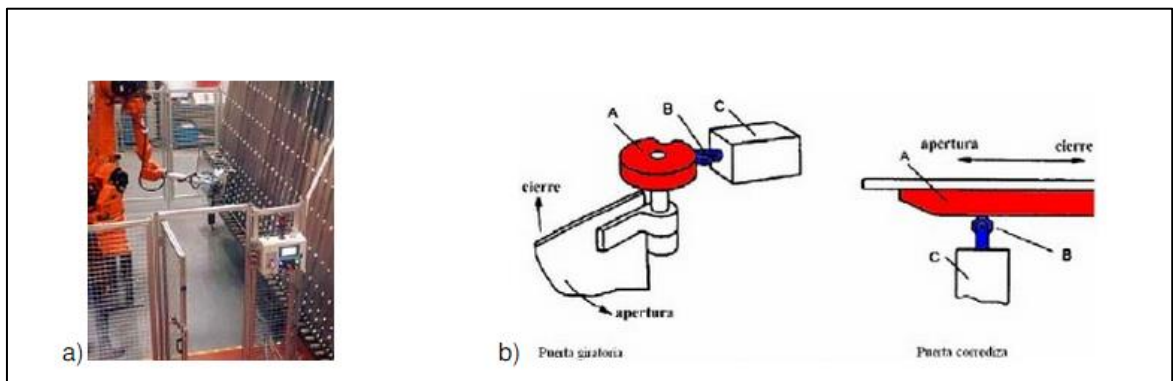
Un método alternativo de restricción de acceso a zonas peligrosas son las barreras fotoeléctricas, consistentes en dispositivos de protección optoelectrónica activa, que generan una señal hacia el sistema de mando cuando se detecta un obstáculo en la trayectoria de una cortina de luz. Otra opción son los suelos y las alfombras sensibles a la presión, que son unos dispositivos de detección basados en la emisión de una señal hacia el sistema de mando cuando un operario se detiene o se desplaza sobre su superficie.

Muchas veces se emplean como elemento de seguridad medios de advertencia, para avisar de la proximidad espacial o temporal de un peligro. Estas medidas se pueden usar como complemento y nunca en sustitución de otras medidas de protección (bocinas, sirenas, pictogramas, señales luminosas, etc.). Durante el funcionamiento de la máquina, en caso de necesidad de acceso del operario al espacio controlado, se deben disponer bordes, barras y parachoques sensibles a la presión.

Estos dispositivos se colocan en una parte de la instalación, para evitar peligros de aplastamiento, atrapamiento y colisión con elementos fijos y móviles, ya que la presión ejercida sobre el operario, activa estos dispositivos provocando la detención del manipulador o del elemento móvil.



**Figura 34. Configuraciones recomendadas para mandos:**  
a) Mandos cubiertos por envoltorio b) Mandos a dos manos [20]



**Figura 35. a) Resguardo móvil con enclavamiento, b) Ejemplos de dispositivos de enclavamiento [20]**


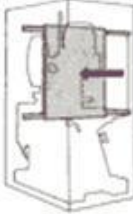
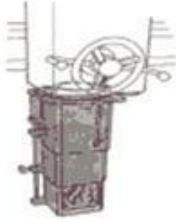
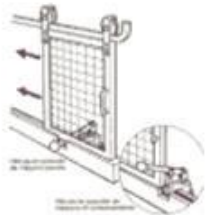
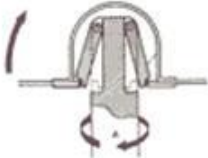
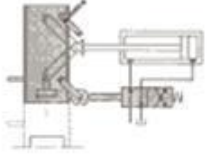
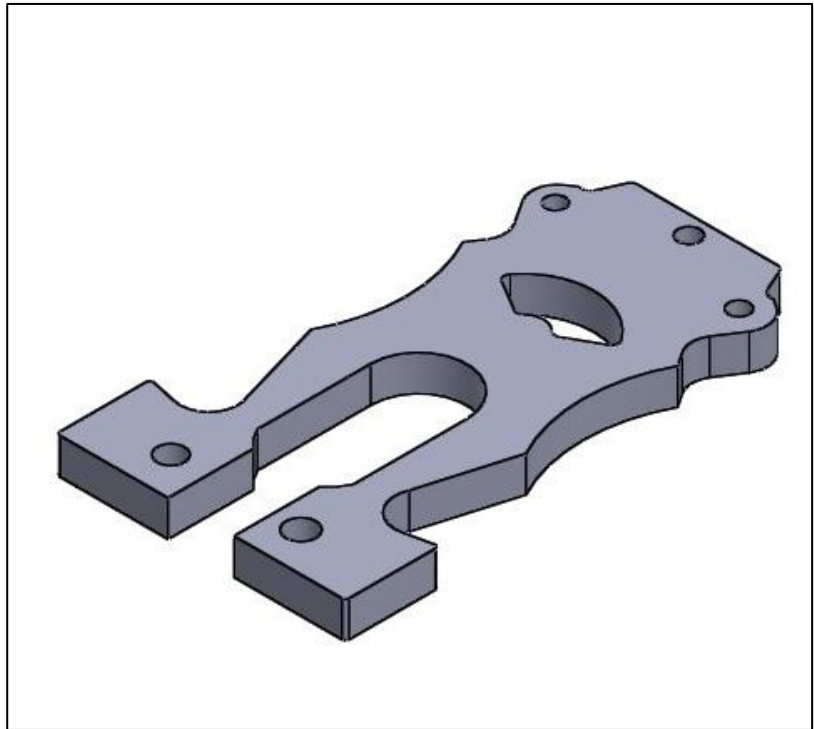
MEDIOS DE PROTECCIÓN DE MÁQUINAS SEGÚN EN 202 (RESGUARDOS)		
TIPO DE RESGUARDO	DEFINICIÓN	ESQUEMA
FIJO	Resguardo que se mantiene en su posición de forma permanente (soldadura) o mediante elementos de fijación (tornillos) que impiden que puedan ser retirados sin auxilio de herramientas.	
MÓVIL	Resguardo generalmente asociado mecánicamente al bastidor de la máquina o a un elemento fijo próximo, mediante bisagras o guías de deslizamiento y que es posible abrir sin uso de herramientas.	
REGULABLE	Resguardo fijo o móvil que es regulable en su totalidad o que incorpora partes regulables.	
CON DISPOSITIVO DE ENCLAVAMIENTO	Resguardo asociado a un dispositivo de enclavamiento de manera que las funciones de seguridad de la máquina cubiertas por el resguardo no pueden desempeñarse hasta que el resguardo esté cerrado, la apertura del resguardo supone la orden de parada, mientras que su cerrado no provoca la puesta en marcha de la máquina.	
CON DISPOSITIVO DE ENCLAVAMIENTO Y BLOQUEO	Resguardo asociado a un dispositivo de enclavamiento y a un dispositivo de bloqueo mecánico. Se diferencia del anterior en que no puede abrirse hasta que desaparece el riesgo de lesión.	
ASOCIADO AL MANDO	Resguardo asociado a un dispositivo de enclavamiento o de enclavamiento y bloqueo, de forma que las funciones peligrosas de la máquina no pueden realizarse hasta que el resguardo esté cerrado, mientras que el cierre del resguardo provoca la puesta en marcha de la máquina.	

Tabla 5. Medios de protección de máquinas [21]



## Capítulo 6

### Modelo base.

### Características y geometría

---

#### 6.1 Introducción

En este capítulo se pretende describir el modelo inicial

Se detallaran las piezas y cada una de las características geométricas que componen el prototipo base.

En el capítulo posterior, se llevará a cabo un análisis del prototipo, utilizando el método de Raven para los problemas de posición, velocidad, y aceleración, y el método del Principio de los Trabajos Virtuales para poder estudiar dinámicamente el modelo.



El objetivo de este análisis dinámico no es más que poder cuantificar la ventaja mecánica del mecanismo de agarre y proponer un nuevo prototipo con una mejora en el diseño si fuera necesario.

## 6.2 Descripción del modelo base

<b>Densidad (<math>\rho</math>)</b>	7.850 kg m <sup>-3</sup>
<b>Módulo de Elasticidad (E)</b>	210.000 N/mm <sup>2</sup>
<b>Módulo de Rigidez (G)</b>	81.000 N/mm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de Poisson (<math>\nu</math>)</b>	0,3
<b>Coefficiente de dilatación térmica (<math>\alpha</math>)</b>	1.2*10 <sup>-3</sup> (°C)
<b>Límite elástico</b>	240.000 N/mm <sup>2</sup>

Tabla 6. Propiedades del acero inoxidable

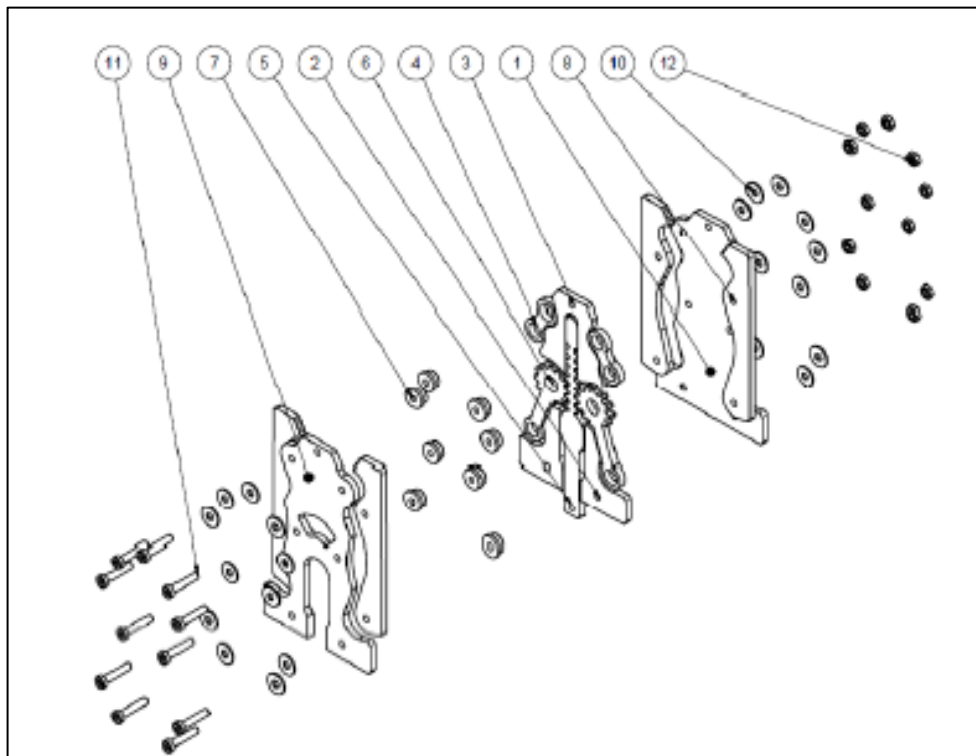


Figura 36. Explosionado modelo base [3]



LISTA DE PIEZAS		
Elemento	Cantidad	Nombre
1	1	Base
2	2	Base inferior
3	1	Tope de la cremallera
4	2	Rótula
5	1	Cremallera
6	2	Rueda dentada
7	8	Cojinete
8	4	Brazo
9	1	Tapa
10	22	ISO 7089
11	11	ISO 4762 M3 x 25
12	11	ISO 4032 M3

Figura 37.Nombre de los componentes [3]

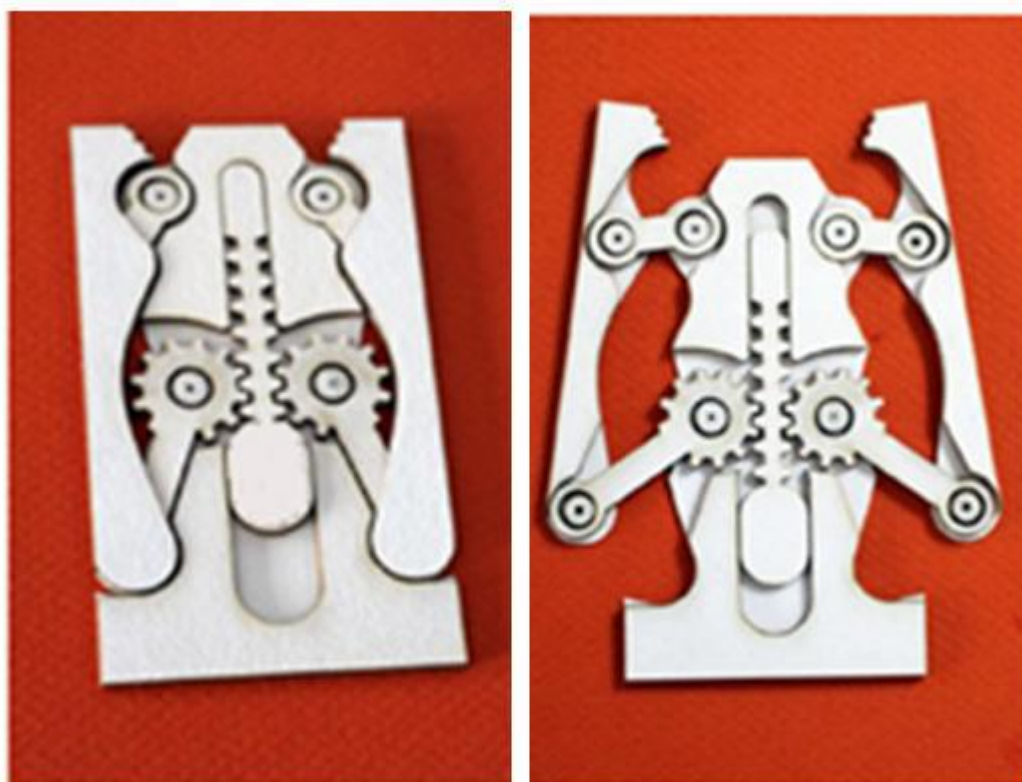


Figura 38.Montaje prototipo en diferentes posiciones [3]



**Figura 39.**Despliegue de todas las piezas del propotito base [3]

## **6.3 Características del actuador neumático**

Para automatizar el sistema de agarre se diseñó en el proyecto aportado por Laura Nogales un circuito neumático.

Dicho circuito se mantendrá también para este, ya que el objetivo de este proyecto se centra en rediseñar únicamente el mecanismo de agarre, si el análisis dinámico del mismo indicase una baja ventaja mecánica.

Por otro lado, y sin centrarnos en la parte neumática, reutilizaremos el circuito utilizado en el anterior proyecto para la automatización del sistema, reduciendo además los costes finales del nuestro trabajo fin de grado.

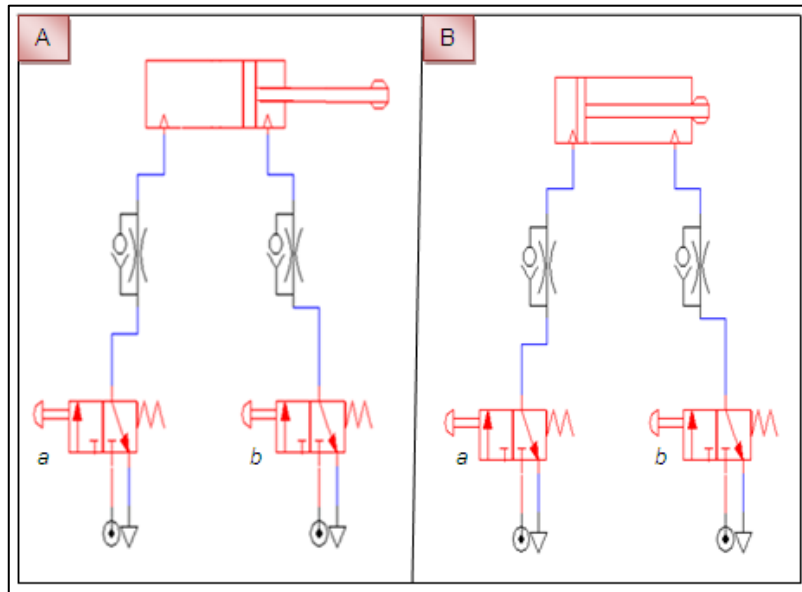


Figura 40. Esquema circuito neumático en avance y retroceso [3]

Esquema	Representación	Nombre del componente	Cantidad
		Cilindro de doble efecto CJ5-S	1
		Válvula 3/2 acciona por pulsador y retorno mediante resorte Serie MV. 0.230.109.311	2
		Válvulas antirretorno con regulación de caudal Serie VA-M5. 0.100.010.131	2

Figura 41. Componentes del circuito [3]

Diámetro del vástago (mm)	Diámetro del émbolo (mm)	Carrera (mm)	Presión de servicio (bar)	Pérdidas por fricción (%)	Fuerza de avance (N)	Fuerza de retroceso (N)
4	10	45	6	10	42,40	35,62

Tabla 7. Características del cilindro de doble efecto [3]

## 6.4 Secuencia de movimiento

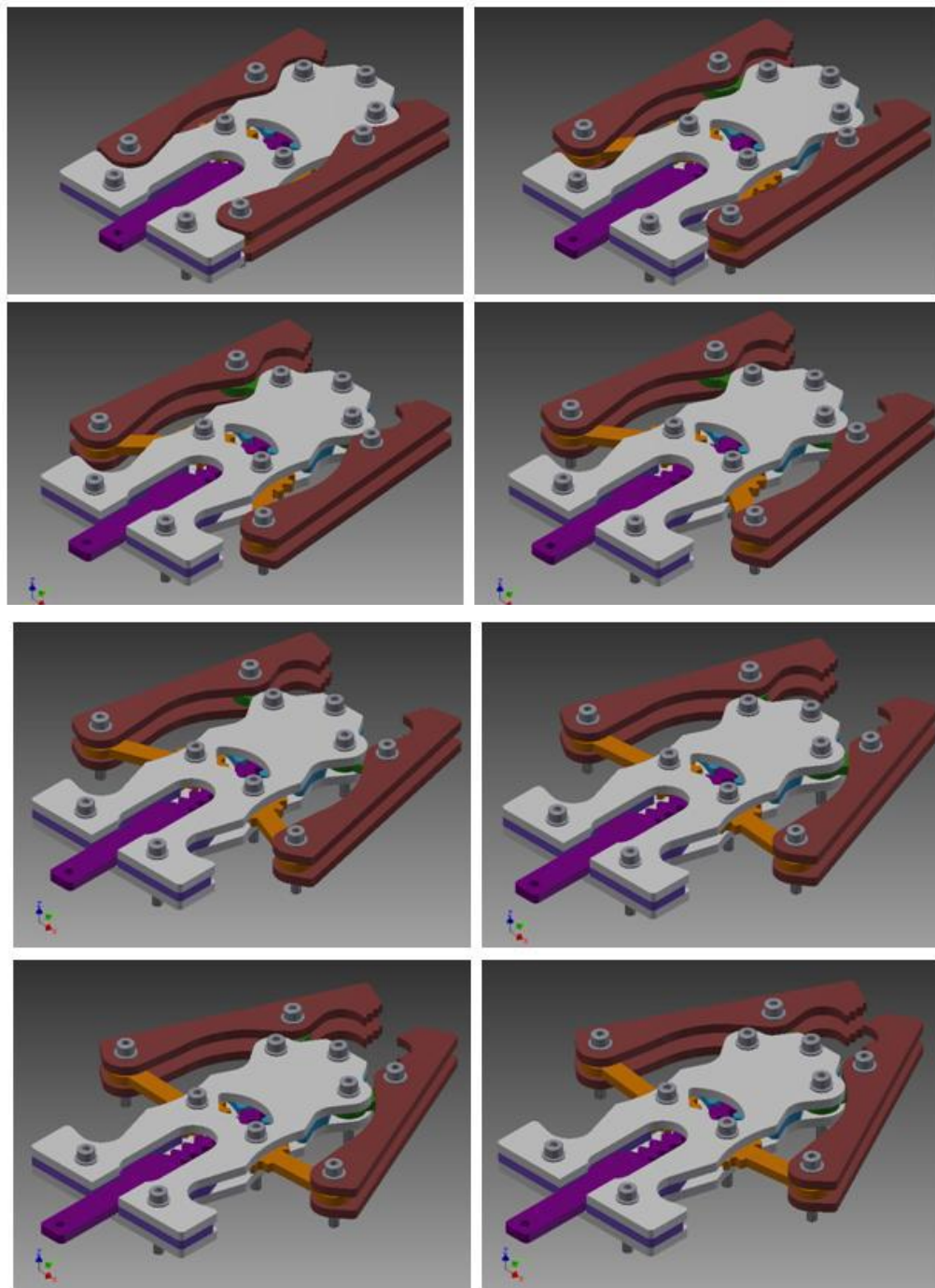
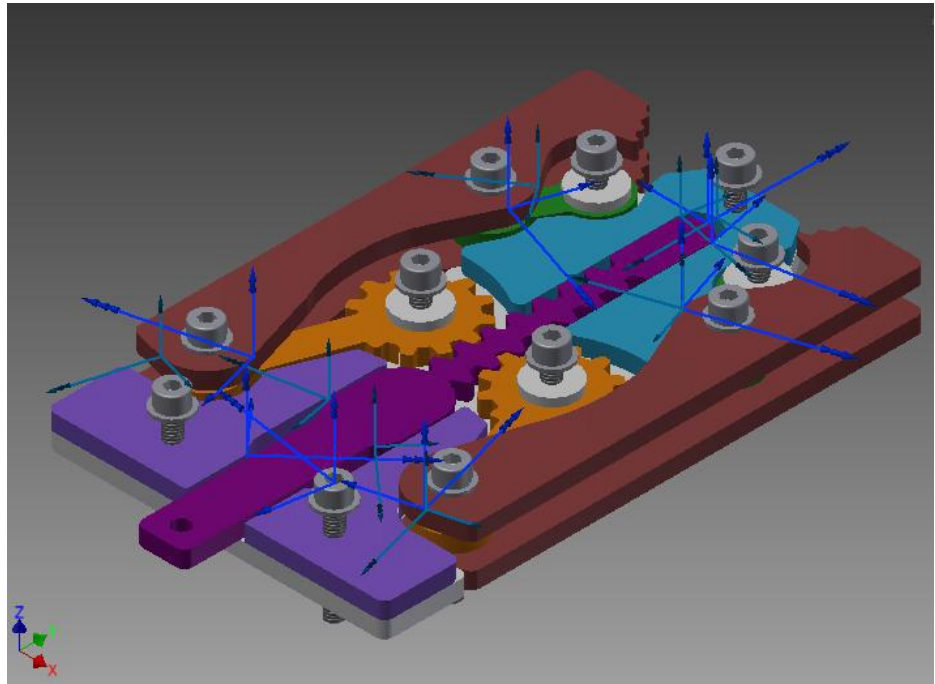


Figura 42. Secuencia de movimiento [3]



## Capítulo 7

# Análisis cinemático y dinámico del prototipo inicial. Métodos analíticos

---

### 7.1 Introducción

Los métodos analíticos tienen como objetivo, llegar a una expresión matemática de las variables cinemáticas de posición, velocidad y aceleración, en función de los parámetros que definen las dimensiones del mecanismo analizado y las variables cinemáticas de entrada.

Normalmente estos métodos se basan en tres tipos de enfoques matemáticos: trigonométricos, números complejos, y análisis vectorial. Nosotros nos serviremos de dos métodos analíticos para analizar nuestro mecanismo de agarre, planteando las ecuaciones de cierre o lazo. Estas ecuaciones representan las restricciones del movimiento del mecanismo de forma matemática empleando cualquiera de los tres enfoques.



**Método 1: Método de Raven.**

A través del método de Raven y planteando las ecuaciones de cierre, abordaremos tres problemas principales.

- Análisis de la posición
- Análisis de la velocidad
- Análisis de la aceleración

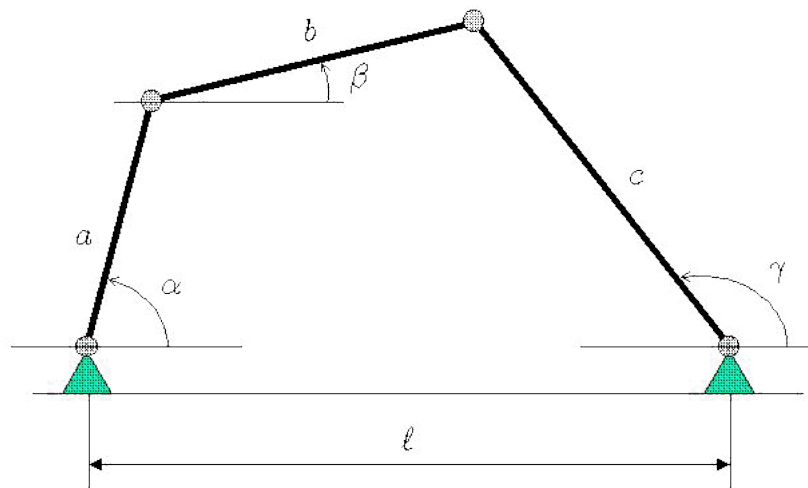
**Método 2: Principio de los Trabajos Virtuales.**

Este segundo método lo utilizaremos para poder determinar la ventaja mecánica de nuestro mecanismo, entendiéndose como ventaja mecánica de un mecanismo o transmisión el cociente entre la fuerza o momento disponible en el punto o eslabón de salida y la fuerza o momento que es necesario aplicar en la entrada. Representa la multiplicación de esfuerzo conseguida por ese mecanismo o transmisión.

## **7.2 Metodo de Raven**

En el estudio analítico del robot se utiliza el álgebra vectorial para representar y describir la localización de un objeto en el espacio respecto a un sistema de referencia fijo. Puesto que un robot se puede considerar como una cadena cinemática formada por elementos rígidos o eslabones unidos entre sí mediante juntas, se puede establecer un sistema de referencia fijo y describir la localización de cada uno de los eslabones con respecto a este sistema de referencia.

Haciendo uso del mecanismo cuadrilátero articulado (mecanismo formado por tres barras móviles y una cuarta barra fija unidas mediante nudos articulados) y haciendo uso de la ley de Grashof, podremos analizar el movimiento que realizará nuestro mecanismo de agarre.



**Figura 43. Cuadrilátero articulado [22]**

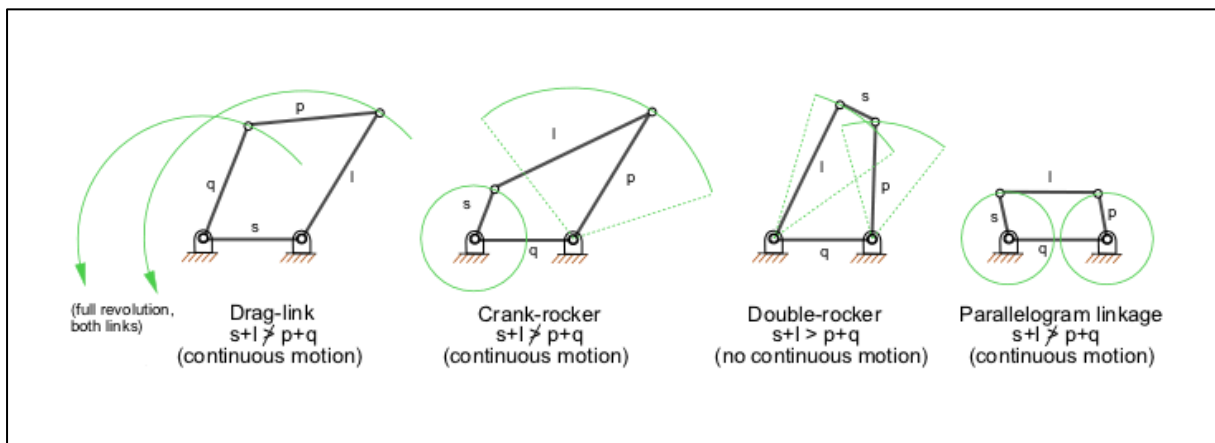
Sustituir los eslabones por vectores

Obtención de un polígono cerrado

Ecuaciones de cierre

### Ley de Grashof

La Ley de Grashof es una fórmula utilizada para analizar el tipo de movimiento que hará el mecanismo de cuatro barras: para que exista un movimiento continuo entre las barras, la suma de la barra más corta y la barra más larga no puede ser mayor que la suma de las barras restantes.



**Figura 44. Ley de Grashof en mecanismo de cuatro barras [22]**

### Análisis Posición

En la Teoría de Máquinas y Mecanismos, la solución de los problemas de análisis de mecanismos comienza con la construcción del esquema cinemático. La información requerida para construcción de éste, mediante el método gráfico se obtiene con relativa facilidad a partir de dibujos y esquemas.

En el ensamble de los eslabones, desde el punto de vista analítico, se opera con vectores. La posición de éstos, en el espacio tridimensional, viene dada por las coordenadas de

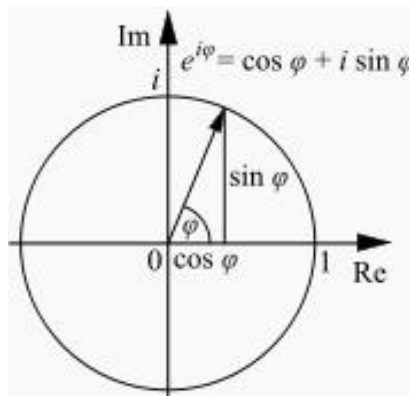
dos puntos o por la coordenada de un solo punto, la longitud y el ángulo de orientación de este vector.

En la formulación analítica de un mecanismo se utiliza un concepto fundamental: Un mecanismo es una cadena cinemática cerrada que tiene un eslabon fijo y un número de grados de libertad igual a uno o mayor que uno.

Para la determinación de la expresión genérica de la posición inicial de un cuadrilátero articulado, plantearemos la ecuación de cierre, a través de la siguiente expresión vectorial.

$$r_1 = r_2 + r_3 + r_4$$

En problemas en el plano es conveniente expresar un vector especificando su magnitud y dirección en notación compleja.



**Figura 45. Representación de los ejes real e imaginario [22]**

Aunque los números complejos no son vectores, se pueden usar para representar vectores en el plano, eligiendo un origen y los ejes real e imaginario.

Pudiendo identificarse  $r_1$  como 1 en la figura, y sustituyendo para cada eslabón:

$$r_1 e^{i\theta_1} = r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} + r_4 e^{i\theta_4} \quad (1)$$

Sistema algebraico que puede ser resuelto por los valores de  $\theta_3$  y  $\theta_4$  en función de los valores conocidos de  $\theta_1$  y  $\theta_2$  y de  $r_1, r_2, r_3, r_4$  y teniendo en cuenta que:



$$e^{i\theta_j} = r_j (\cos \theta_j + i \operatorname{sen} \theta_j)$$

Podemos obtener las ecuaciones de cierre tanto en su parte real como en parte imaginaria

#### Ecuaciones de cierre. Parte real

$$r_1 \cos \theta_1 = r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3 + r_4 \cos \theta_4$$

#### Ecuaciones de cierre. Parte imaginaria

$$r_1 \operatorname{sen} \theta_1 = r_2 \operatorname{sen} \theta_2 + r_3 \operatorname{sen} \theta_3 + r_4 \operatorname{sen} \theta_4$$

Focalizando en nuestro diseño, y siguiendo con el análisis de la posición para nuestro mecanismo de agarre, haremos uso de las ecuaciones paramétricas (nos permiten representar una o varias curvas o superficies en el plano o en el espacio, mediante valores arbitrarios o mediante una constante, llamada parámetro), definiendo la trayectoria de un punto P (x,y) del elemento acoplador de un cuadrilátero articulado.

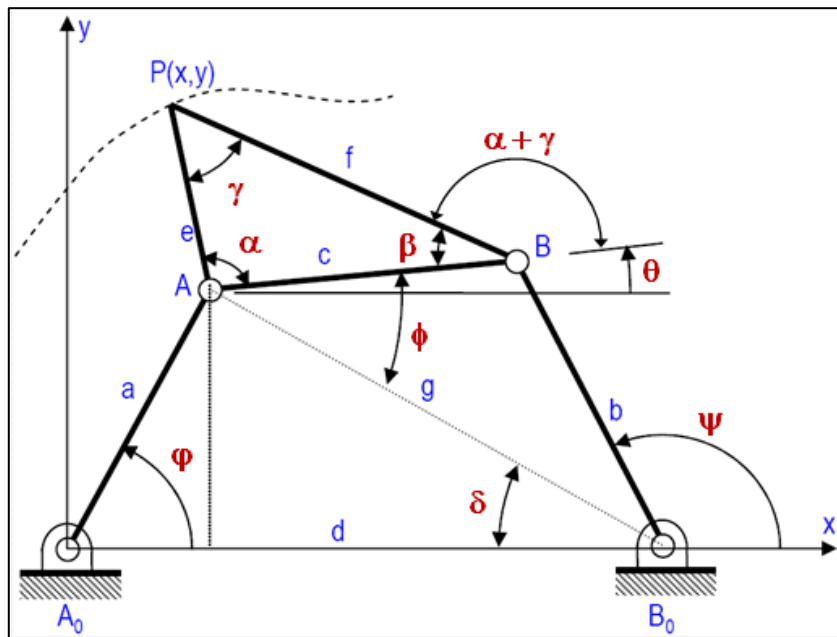


Figura 46. Trayectoria de un punto P(x,y) del elemento acoplador de un cuadrilátero articulado [23]

$$\begin{aligned} \text{Posición general punto P} \quad x &= x(\varphi) \\ y &= y(\varphi) \end{aligned} \quad (2)$$

Particularizando para las características geométricas de nuestro punto acoplador y reescribiendo (2):

$$\begin{aligned} x &= a \cdot \cos(\varphi) + e \cdot \cos(\alpha + \theta) \\ y &= a \cdot \sin(\varphi) + e \cdot \sin(\alpha + \theta) \end{aligned} \quad (3)$$

Estableciendo una relación angular para los ángulos  $\Phi$  y  $\delta$ , y sustituyendo en (3) la expresión resultante será:

$$\begin{aligned} x &= a \cdot \cos(\varphi) + e \cdot \cos(\phi + \alpha - \delta) \\ y &= a \cdot \sin(\varphi) + e \cdot \sin(\phi + \alpha - \delta) \end{aligned} \quad (4)$$

Teniendo en cuenta que podemos obtener  $\delta$ ,  $g$  y  $\Phi$  directamente a través de las siguientes ecuaciones:

$$\delta = \tan^{-1} \left( \frac{a \cdot \sin \varphi}{d - a \cdot \cos \varphi} \right)$$

$$\phi = \cos^{-1} \left( \frac{g^2 + c^2 - b^2}{2 \cdot c \cdot g} \right)$$

$$g = \sqrt{a^2 \cdot \sin^2 \varphi + (d - a \cdot \cos \varphi)^2} = \sqrt{a^2 + d^2 - 2 \cdot a \cdot d \cdot \cos \varphi}$$

### Análisis Velocidad

Estableciendo la expresión de los vectores en notación compleja, la obtención de la velocidad es directa si tenemos en cuenta que solo es necesario derivar con respecto al tiempo la expresión de la posición para llegar a la ecuación deseada.

Volviendo a la figura, y utilizando la ecuación (1), realizaremos la derivada con respecto al tiempo y obtendremos también en este caso la solución separadas en sus respectivas parte real e imaginaria

$$r_1 e^{i\theta_1} \cdot \frac{d\theta_1}{dt} \vec{j} = r_2 e^{i\theta_2} \cdot \frac{d\theta_2}{dt} \vec{j} + r_3 e^{i\theta_3} \cdot \frac{d\theta_3}{dt} \vec{j} + r_4 e^{i\theta_4} \cdot \frac{d\theta_4}{dt} \vec{j}$$

La derivada con respecto al tiempo de la posición angular:

$$\frac{d\theta_i}{dt} = w_i \quad (5)$$

Sustituyendo en 5:

$$r_1 e^{i\theta_1} \cdot w_1 \vec{j} = r_2 e^{i\theta_2} \cdot w_2 \vec{j} + r_3 e^{i\theta_3} \cdot w_3 \vec{j} + r_4 e^{i\theta_4} \cdot w_4 \vec{j} \quad (6)$$

Es importante recalcar que las expresiones planteadas varían dependiendo de las posiciones relativas de los elementos.

#### Parte real

$$r_1 w_1 \sin \theta_1 = r_2 w_2 \sin \theta_2 + r_3 w_3 \sin \theta_3 + r_4 w_4 \sin \theta_4$$

#### Parte imaginaria

$$r_1 w_1 \cos \theta_1 = r_2 w_2 \cos \theta_2 + r_3 w_3 \cos \theta_3 + r_4 w_4 \sin \theta_4$$

Teniendo en cuenta que la expresión (5) se anula para un punto fijo, y despejando de la ecuación (6), obtendremos (7):

$$w_3 = w_2 \cdot \frac{r_2}{r_3} \cdot \frac{\sin(\theta_4 - \theta_2)}{\sin(\theta_3 - \theta_4)}$$

$$w_4 = w_2 \cdot \frac{r_2}{r_4} \cdot \frac{\sin(\theta_2 - \theta_3)}{\sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

Las ecuaciones simultáneas que resultan de la resolución de la ecuación son lineales, debido al hecho de que la ecuación general es lineal en las variables de velocidad.

#### Análisis aceleración

El procedimiento a seguir para obtener la aceleración será el mismo empleado para la velocidad pero realizando una segunda vez la derivada con respecto al tiempo de nuestro vector posición (1)

$$\frac{d}{dt} (r_1 e^{i\theta_1} \cdot w_1 \vec{j} = r_2 e^{i\theta_2} \cdot w_2 \vec{j} + r_3 e^{i\theta_3} \cdot w_3 \vec{j} + r_4 e^{i\theta_4} \cdot w_4 \vec{j}) \quad (8)$$

Resolviendo la ecuación (8)

$$-r_2 w_2^2 e^{i\theta_2} - r_3 w_3^2 e^{i\theta_3} - r_4 w_4^2 e^{i\theta_4} + i r_2 \alpha_2 e^{i\theta_2} + i r_3 \alpha_3 e^{i\theta_3} + i r_4 \alpha_4 e^{i\theta_4} = 0$$

Separando en parte real e imaginaria:

**Parte real.**

$$-r_3 \alpha_3 \sin \theta_3 - r_4 \alpha_4 \sin \theta_4 = r_2 w_2^2 \cos \theta_2 + r_3 w_3^2 \cos \theta_3 + r_4 w_4^2 \cos \theta_4 + r_2 \alpha_2 \sin \theta_2$$

**Parte imaginaria**

$$r_3 \alpha_3 \cos \theta_3 + r_4 \alpha_4 \cos \theta_4 = r_2 w_2^2 \sin \theta_2 + r_3 w_3^2 \sin \theta_3 + r_4 w_4^2 \sin \theta_4 - r_2 \alpha_2 \cos \theta_2$$

Donde las incógnitas son :  $\alpha_3$  y  $\alpha_4$  que podemos obtenerlas directamente despejando de la expresión (8)

$$\alpha_3 = \frac{r_2 w_2^2 \cos(\theta_4 - \theta_2) + r_3 w_3^2 \cos(\theta_4 - \theta_3) + r_4 w_4^2}{r_3 \sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

$$\alpha_4 = \frac{r_2 w_2^2 \cos(\theta_4 - \theta_2) + r_4 w_4^2 \cos(\theta_4 - \theta_3) + r_3 w_3^2}{r_4 \sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

## 7.3 Principio de los Trabajos Virtuales

Estableceremos una relación entre el trabajo de las cargas o acciones exteriores, con la energía de deformación interna (que dependerá del estado tensional y de las deformaciones del cuerpo)

**Caso particular: Sólido rígido.**

Realizaremos un estudio de los PTV aplicado a nuestro caso concreto, donde nuestra mano robótica (gripper de dos garras) es un sólido rígido ya que las posiciones relativas de nuestras partículas no cambian.

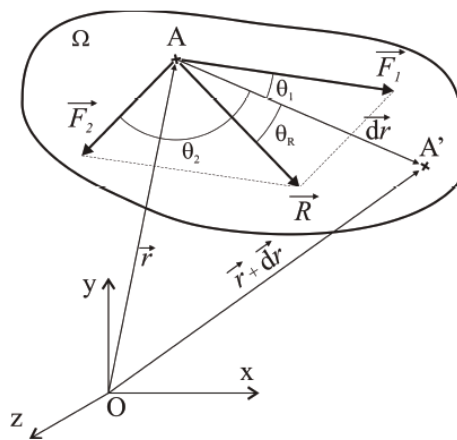
Cabe destacar que los mecanismos reales nunca son absolutamente rígidos y se deforman bajo la acción de las cargas que actúan sobre ellas, pero nosotros, tomaremos nuestro mecanismo de agarre como un sólido rígido.

“Dado un sólido rígido mantenido en equilibrio por un sistema de fuerzas, el trabajo virtual efectuado por este sistema durante un desplazamiento virtual es nulo”

(Bernouilli, 1717)

#### Trabajo de un sistema de fuerzas

Comenzaremos por representar un sistema de fuerzas aplicado sobre un cuerpo, demostrando que el trabajo desarrollado por dicho sistema es igual de su resultante.



**Figura 47. Trabajo de un sistema de fuerzas**  
[24]

El punto de aplicación A, sufre un desplazamiento  $dr$  hasta ubicarse en A'.

Llamando  $dU_1$ ,  $dU_2$  y  $dU_R$  al trabajo producido a lo largo del desplazamiento  $dr$  por las fuerzas  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  y  $\vec{R}$  respectivamente, y  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  y  $\theta_R$  a los ángulos que forman la dirección de cada una de las fuerzas con la dirección del desplazamiento:

$$\begin{aligned} dU_1 &= \vec{F}_1 \cdot d\vec{r} = F_1 dr \cos(\theta_1) \\ dU_2 &= \vec{F}_2 \cdot d\vec{r} = F_2 dr \cos(\theta_2) \\ dU_R &= \vec{R} \cdot d\vec{r} = R dr \cos(\theta_R) \end{aligned}$$

**Tabla 8. Trabajos producidos por cada una de las fuerzas a lo largo del desplazamiento [24]**

Dado que:

$$|\vec{F}_1| = F_1 \quad |\vec{F}_2| = F_2 \quad |\vec{R}| = R$$

$$\begin{aligned} dU_1 + dU_2 &= \vec{F}_1 \cdot d\vec{r} + \vec{F}_2 \cdot d\vec{r} = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2) \cdot d\vec{r} = (F_1 \cos(\theta_1) + F_2 \cos(\theta_2)) dr \\ dU_1 + dU_2 &= \vec{R} \cdot d\vec{r} = R dr \cos(\theta_R) = dU_R \end{aligned}$$

Es decir, el trabajo de la resultante del sistema de fuerzas es igual a la suma algebraica de los trabajos de las fuerzas componentes.

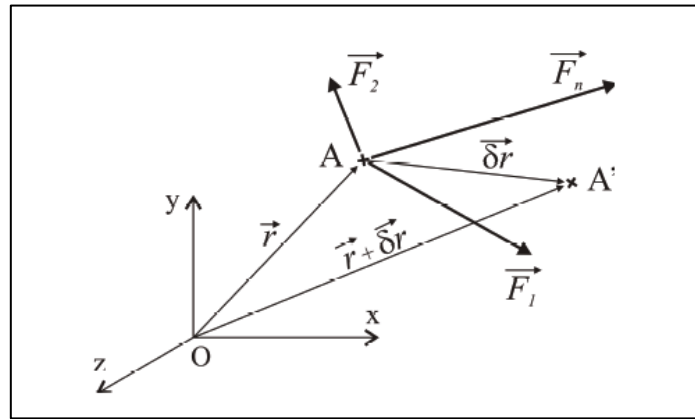
Esta demostración puede ser fácilmente generalizada para un sistema de  $n$  fuerzas, considerando dicho sistema como uno formado por pares de fuerzas concurrentes y trabajando luego con sus resultantes.[24]

### Principio de los Trabajos Virtuales

El Principio de Trabajos Virtuales de una partícula establece que si una partícula está en equilibrio, el trabajo virtual total de las fuerzas que concurren a la partícula es nulo, para cualquier desplazamiento virtual considerado.

Si una partícula está en equilibrio, la resultante del sistema de fuerzas aplicado en la misma debe ser nulo,  $\vec{R} = 0$ , es decir, analizando el enunciado del Principio de Trabajos Virtuales se puede observar que si se verifica  $\delta U = \vec{R} \cdot \delta \vec{r} = 0$  para cualquier desplazamiento virtual no nulo, la resultante debe ser nula. [25]

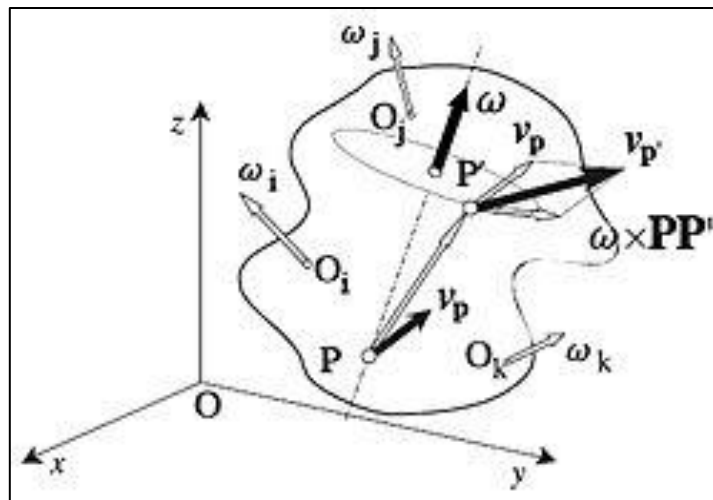
Al tratarse de un cuerpo rígido, el Principio de Trabajos Virtuales establece que si sobre un cuerpo rígido actúa un sistema de fuerzas (y momentos) en equilibrio, el trabajo producido por dicho sistema a lo largo de un desplazamiento virtual es nulo. [25]



**Figura 48. Principio de los Trabajos Virtuales [25]**

A través del PTV, relacionaremos la fuerza de agarre en el punto de contacto con la velocidad y el ángulo en dicho punto.

Para obtener la velocidad en el punto de contacto utilizaremos el teorema de las velocidades relativas:



**Figura 49. Teorema de las velocidades relativas [26]**

## 7.4 Modelo analítico para el diseño propuesto

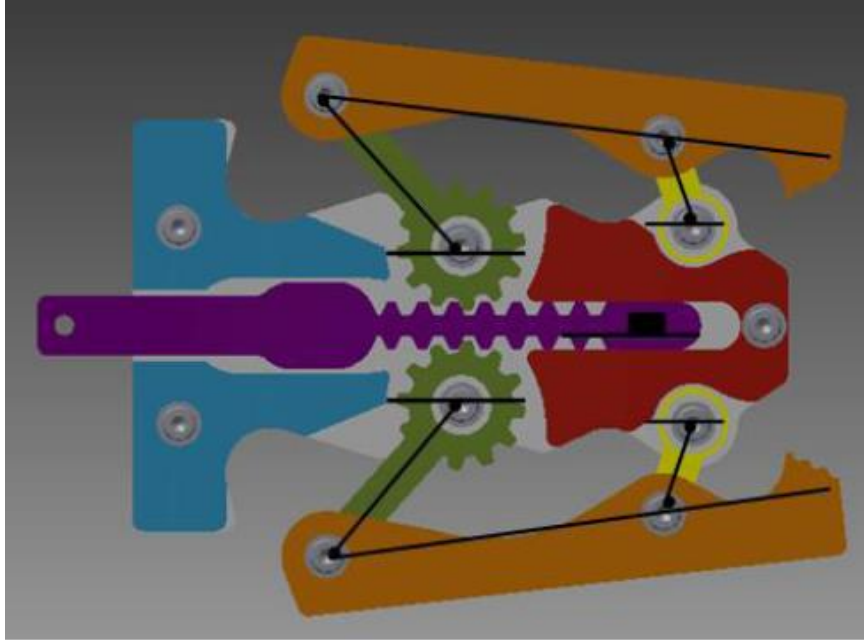


Figura 50. Representación del mecanismo [3]

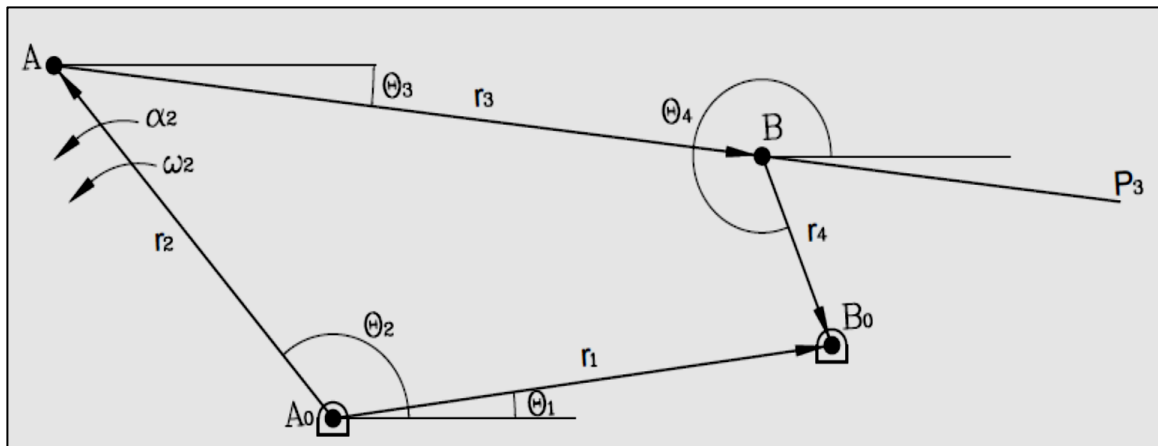


Figura 51. Modelo cinemático de nuestro Gripper [23]

Al presentar simétrica, analizaremos una de las dos mitades siendo válida para la otra mitad. Se conocen los valores de la longitud de los eslabones



Longitud de los eslabones (I)	
$r_1$	46,17mm
$r_2$	40mm
$r_3$	67mm
$r_4$	19mm

Tabla 9. Longitud de los eslabones (I)

**-Resolución del problema de la posición para el diseño propuesto**

Siguiendo con las pautas teóricas establecidas anteriormente, se hace necesario definir las posiciones iniciales y finales de la barra acopladora para poder establecer la trayectoria del punto P del elemento acoplador.

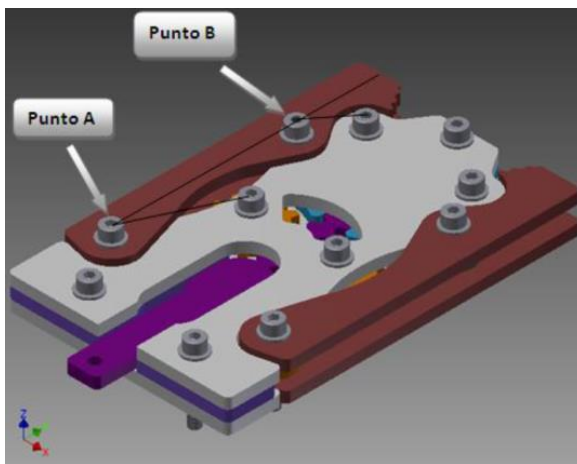


Figura 52. Posición inicial [3]

Posición inicial: La barra acopladora es paralela a la horizontal (también es la dirección de empuje del pistón y de desplazamiento de la cremallera).

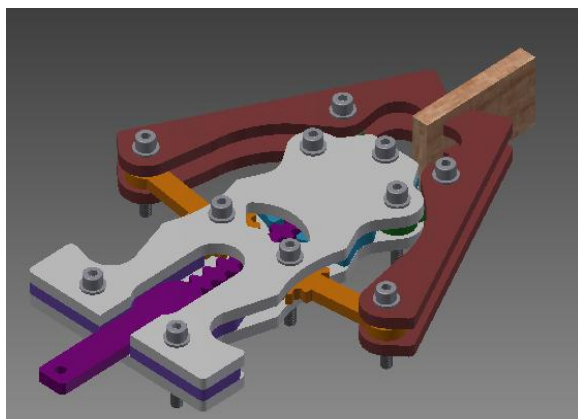


Figura 53. Posición final [3]

Posición de agarre, calculada para una pieza de 10 mm. de ancho: La barra acopladora alcanza un ángulo que debe determinarse

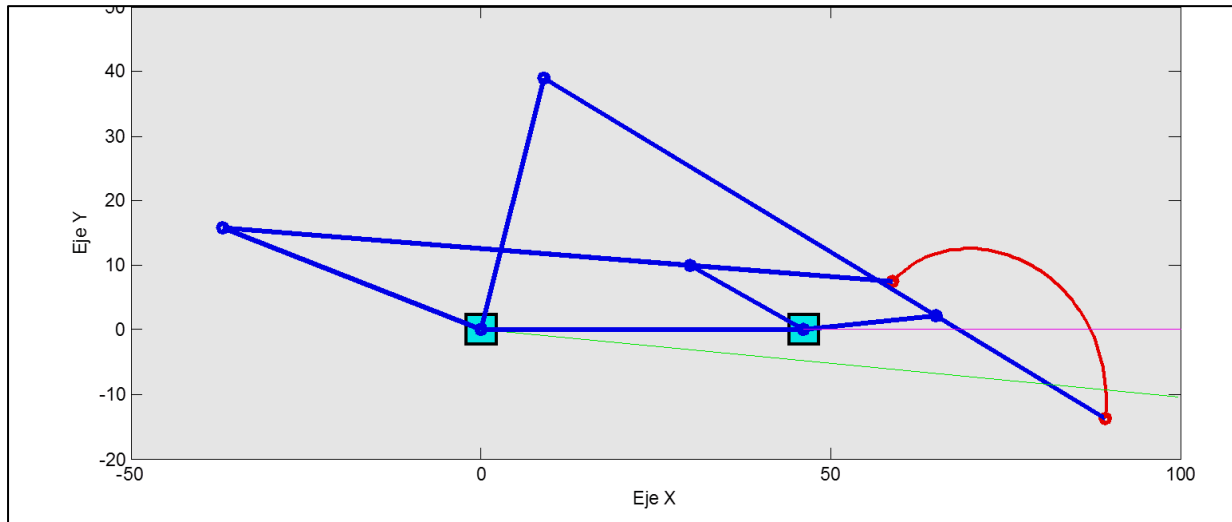


Figura 54. Representación de la trayectoria descrita por el mecanismo en Matlab [23]

La figura detallada a continuación muestra la variación de la velocidad y de la aceleración del eslabón que establece contacto con el objeto, durante todo su recorrido

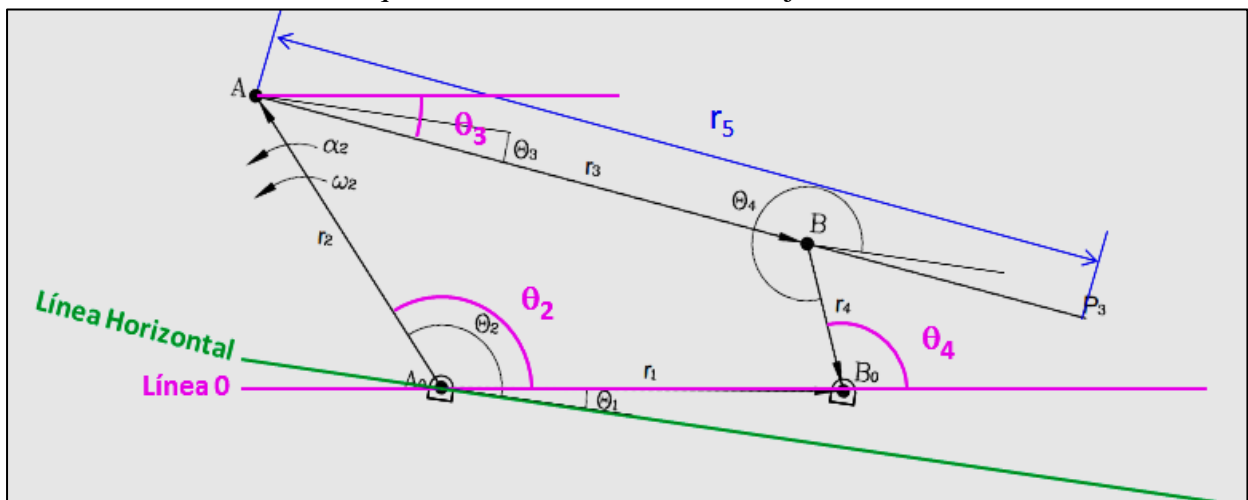
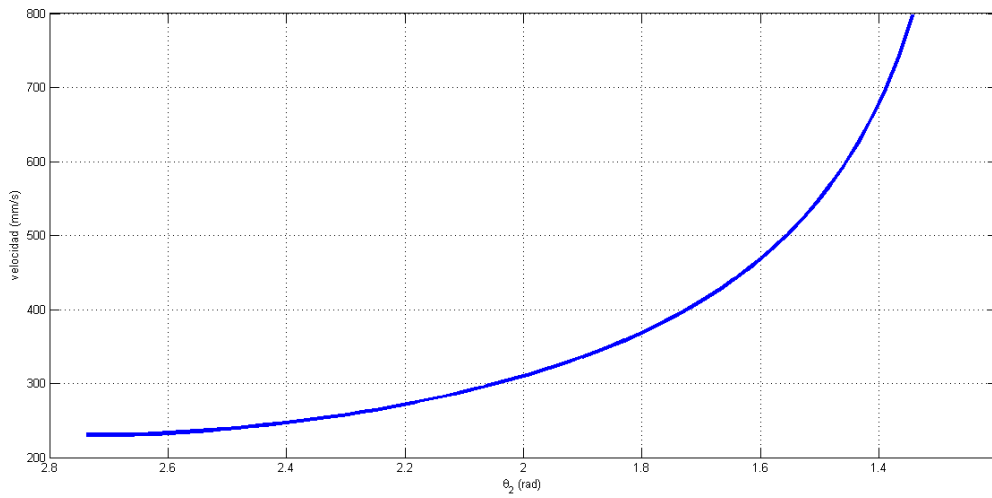
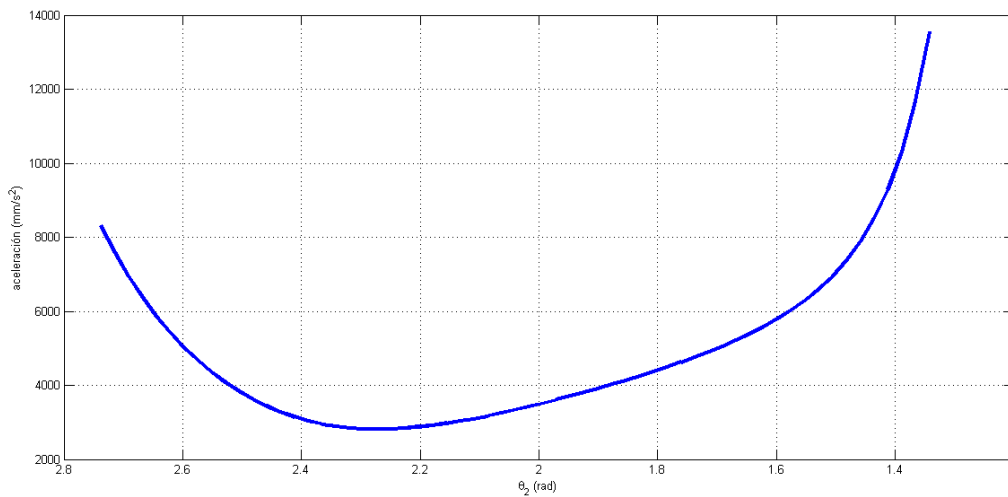


Figura 55. Trayectoria descrita por el mecanismo. Parámetros [23]



**Figura 57.** Variación de la velocidad en función del ángulo de entrada



**Figura 56.** Variación de la aceleración en función del ángulo de entrada

**Consideraciones y cálculo en Matlab. Obtención numérica de los resultados.**

Cálculo de los ángulos en las posiciones finales e iniciales de nuestro mecanismo. Mediante la simulación en Matlab, obtendremos los valores de los ángulos en las posiciones iniciales y finales, considerando que el objeto que se pretende agarrar es de 10mm.

Se conocen las longitudes de los eslabones:

Longitud de los eslabones (II)	
$r_1$	46,17mm
$r_2$	40mm
$r_3$	67mm
$r_4$	19mm
$r_5$	96mm

**Tabla 10. Longitud de los eslabones (II)**

- $\theta_1$  original = - 4,96974°

En la posición inicial:

- $\theta_2 = 156,85^\circ \rightarrow \theta_2 = 2,7375$  rad.
- $\theta_3 = - 4,971^\circ \rightarrow \theta_3 = - 0,0868$  rad.
- $\theta_4 = 148,5265^\circ \rightarrow \theta_4 = 2,5923$  rad.

En la posición final

- $\theta_2 = 76,91^\circ \rightarrow \theta_2 = 1,3423$  rad.
- $\theta_3 = - 33,313^\circ \rightarrow \theta_3 = - 0,5814$  rad.
- $\theta_4 = 6,5382^\circ \rightarrow \theta_4 = 0,1141$  rad.

**Análisis dinámico de nuestro gripper. Aplicación del PTV a nuestro diseño.**

Detallamos a continuación las características del cilindro neumático ya aportadas por Laura Nogales en su proyecto:

Diámetro del vástago (mm)	Diámetro del émbolo (mm)	Carrera (mm)	Presión de servicio (bar)	Pérdidas por fricción (%)	Fuerza de avance (N)	Fuerza de retroceso (N)
4	10	45	6	10	42,40	35,62

Tabla 11. Características técnicas del cilindro de doble efecto [3]

A través del PTV, relacionaremos la fuerza de agarre  $\vec{F}_{P3}$  en el punto de contacto con la velocidad y el ángulo en dicho punto.

La fuerza de agarre  $\vec{F}_{P3}$  relacionada con la fuerza de entrada  $\vec{F}_2$  proporcionada por el cilindro, me permitirá cuantificar la ventaja mecánica de mi mecanismo de agarre.

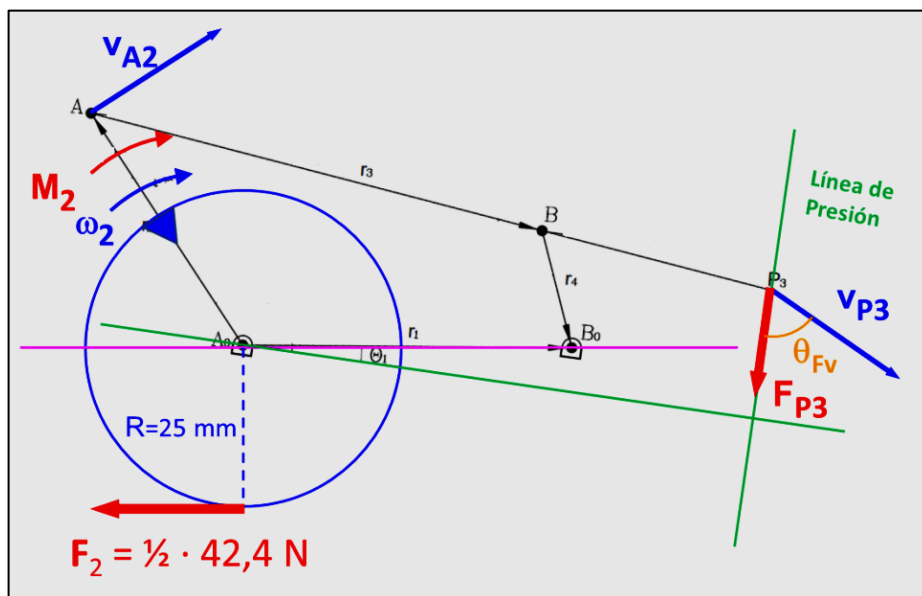


Figura 58. Representación de la fuerza de agarre. [23]

Aplicando el Principio de los Trabajos Virtuales:

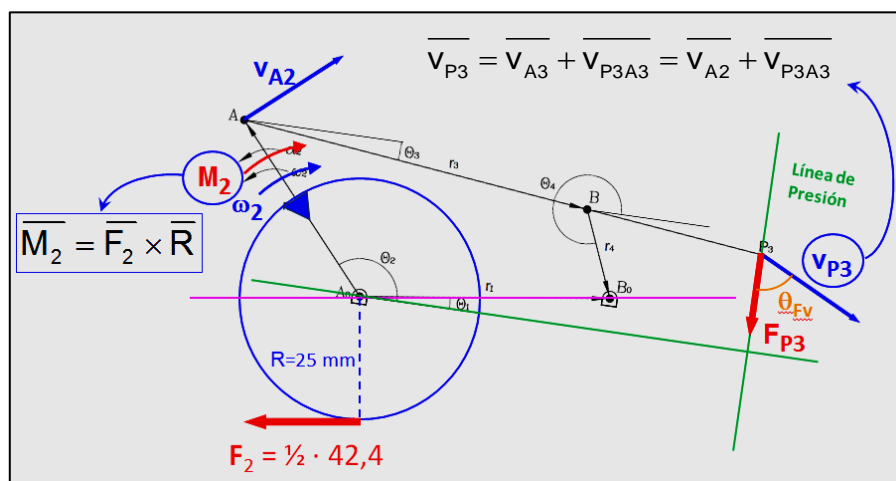


Figura 59. Representación de la fuerza de agarre [23]

$$\overline{v_{P3}} = \overline{v_{A3}} + \overline{v_{P3A3}} = \overline{v_{A2}} + \overline{v_{P3A3}}$$

$$\overline{M_2} \cdot \overline{\omega_2} = \overline{F_{P3}} \cdot \overline{v_{P3}} \quad (1)$$

$$M_2 \omega_2 = F_{P3} v_{P3} \cos \theta_{Fv} \quad (2)$$

La velocidad en el punto de contacto  $V_{p3}$  se determina mediante el teorema de las velocidades relativas [27]

$$\overline{v_{P3}} = \overline{v_{A3}} + \overline{v_{P3A3}} = \overline{v_{A2}} + \overline{v_{P3A3}} \quad (3)$$

$$\overline{v_{P3}} = \overline{\omega_2} \times \overline{r_2} + \overline{\omega_3} \times \overline{r_5} = \overline{\omega_2} \times \overline{r_2} \left( 1 + \frac{r_2}{r_3} \frac{\sin(\theta_4 - \theta_2)}{\sin(\theta_3 - \theta_4)} \right) \quad (4)$$

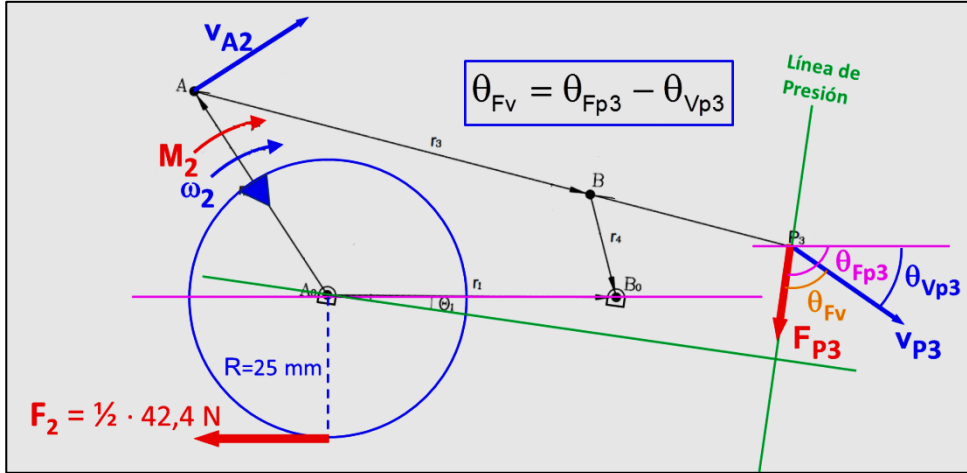


Figura 60. Representación  $V_{p3}$  [23]

Despejando y relacionando las fuerzas:

$$F_2 R = F_{P3} r_2 \left( 1 + \frac{r_5 \sin(\theta_4 - \theta_2)}{r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)} \right) \cos \theta_{Fv}$$

$$\frac{F_{P3}}{F_2} = \frac{R}{r_2 \left( 1 + \frac{r_5 \sin(\theta_4 - \theta_2)}{r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)} \right) \cos \theta_{Fv}}$$

### **Determinación del ángulo de la velocidad en el punto de contacto.**

Para determinar el ángulo de la velocidad en el punto de contacto, se determinó previamente el centro instantáneo de rotación  $I_3$ , partiendo de las coordenadas de los puntos  $A_0$ ,  $A$ ,  $B_0$  y  $B$ .

### **Análisis de la velocidad con el empleo de los centros instantáneos de rotación.**

El CIR permite determinar la velocidad de cualquier punto de un mecanismo sin necesidad de calcular previamente las velocidades de otros puntos.

Con el método de los CIR, no es necesario calcular la velocidad de un punto que una físicamente dos barras, sino que calculando la velocidad del CIR relativo de dos eslabones podemos considerar que conocemos la velocidad de un punto que pertenece indistintamente a cualquiera de los dos eslabones. Es importante resaltar que el CIR se comporta como si perteneciera simultáneamente a ambos eslabones, por tanto su velocidad debe ser la misma si la obtenemos en base a uno u otro eslabón. [28]

Para calcular las velocidades por CIR seguiremos los pasos siguientes:

1. Identificar los eslabones a los que pertenecen:

- a) El punto de velocidad conocida.
- b) El punto de velocidad desconocida.
- c) El eslabón de referencia o barra fija.

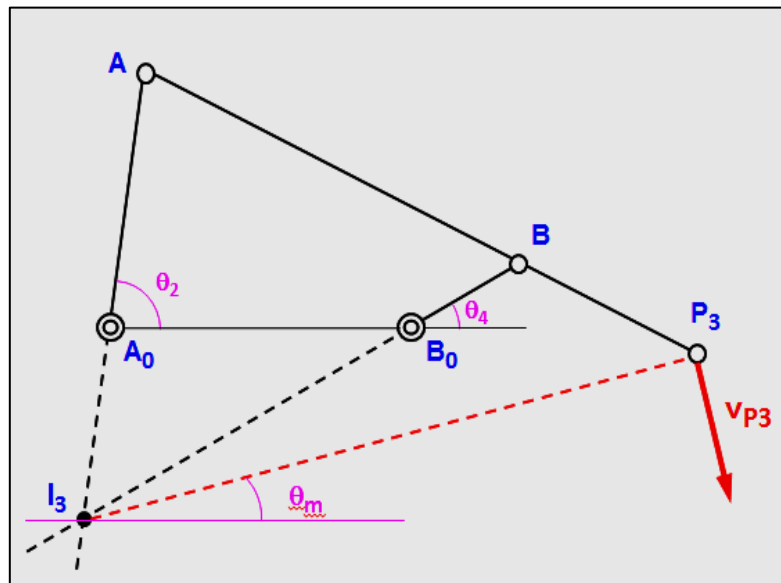


Figura 61. Cálculo del centro instantáneo de rotación [23]

$$(x_{A_0}, y_{A_0}) = (0, 0)$$

$$(x_{B_0}, y_{B_0}) = (46,17, 0)$$

$$(x_A, y_A) = (r_2 \cos \theta_2, r_2 \sin \theta_2) = (40 \cos(76,91^\circ), 40 \sin(76,91^\circ)) = (9,06, 38,96)$$

$$(x_B, y_B) = (r_1 + r_4 \cos \theta_4, r_4 \sin \theta_4) = (46,17 + 19 \cos(6,5382^\circ), 19 \sin(6,5382^\circ)) = (65,05, 2,16)$$

$$\frac{x - 46,17}{65,05 - 46,17} = \frac{y - 0}{2,16 - 0} \Rightarrow y = 0,1144x - 5,28$$

$$\frac{x - 0}{9,06 - 0} = \frac{y - 0}{38,96 - 0} \Rightarrow y = 4,3x$$

$$(x_{I_3}, y_{I_3}) = (-1,26, -5,42)$$





Cálculo de:  $\theta_{Fv}$ 

- $\theta_1$  original = - 4,96974°

El ángulo de presión (ángulo de FP3) será perpendicular a la línea de acción del pistón:

- $\theta_{FP3} = \theta_1 - 90^\circ = -94,97^\circ$

Cálculo de la fuerza de apriete

El ángulo de la velocidad de vP3 será:

Considerando  $\theta_{Fv} = 0^\circ$ , la relación de fuerzas será

- $\theta_{VP3} = \theta_m - 90^\circ = -95,26^\circ$

Luego, en la posición de agarre, el ángulo entre la fuerza y la velocidad es próximo a cero:

- $\theta_{Fv} = \theta_{FP3} - \theta_{VP3} = 0,29^\circ \approx 0^\circ$

$$\frac{F_{P3}}{F_2} = \frac{R}{r_2 \left( 1 + \frac{r_5 \sin(\theta_4 - \theta_2)}{r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)} \right) \cos \theta_{Fv}} \approx \frac{R}{r_2 \left( 1 + \frac{r_5 \sin(\theta_4 - \theta_2)}{r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)} \right)}$$

En la posición final (para agarrar un cuerpo de 10 mm.):

$\theta_1 = -4,97^\circ; \theta_2 = 76,91^\circ; \theta_3 = -33,313^\circ; \theta_4 = 6,5382^\circ$
$r_1 = 46,17 \text{ mm}$
$r_2 = 40 \text{ mm}$
$r_3 = 67 \text{ mm}$
$r_4 = 19 \text{ mm}$
$r_5 = 96 \text{ mm}$
$R = 25 \text{ mm.}$

- Luego,  $F_{P3} = 0,2015 \cdot F_2 = 0,2015 \cdot 21,2 = 4,27 \text{ N}$ .

- **Fuerza Total** de apriete (para agarrar un cuerpo de 10 mm.) será

$$\frac{F_{P3}}{F_2} = \frac{R}{r_2 \left( 1 + \frac{r_5 \sin(\theta_4 - \theta_2)}{r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)} \right)} = \frac{25}{40 \left( 1 + \frac{96 \sin(6,54^\circ - 76,91^\circ)}{67 \sin(-33,31^\circ - 6,54^\circ)} \right)} = \frac{0,625}{1 + 1,43 \frac{\sin(-70,37^\circ)}{\sin(-39,85^\circ)}} = 0,201$$

$$F_{\text{Total}} = 2 \cdot F_{P3} = 8,54 \text{ N}$$

---

### **Problema presentado por el contacto piñón-cremallera**

El mecanismo piñón-cremallera tiene por finalidad la de transformar un movimiento rectilíneo (cremallera) en un movimiento de rotación o circular (piñón).

El piñón es una rueda dentada que describe un movimiento de rotación alrededor de su eje, mientras que la cremallera describe el movimiento rectilíneo en uno u otro sentido.

El mecanismo piñón-cremallera funciona como un engranaje simple, esto significa que tanto la cremallera como el piñón han de tener el mismo paso circular y, en consecuencia, el mismo módulo.

Las condiciones que se deben satisfacer en este conjunto son las siguientes:

- Ofrecer el mismo módulo.
- Presentar igual ángulo de presión de talla  $\alpha$ .
- Disponer de una altura de cabeza y de pie normalizadas.
- Tener un hueco interdental igual al espesor del diente.

Todas ellas fueron cumplidas en el modelo inicial presentado por Laura Nogales.

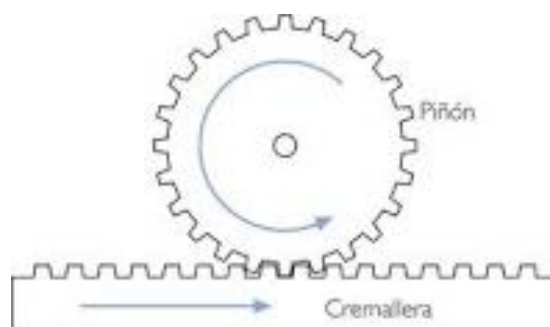
Parámetros		
Angulo de presión de referencia	$\alpha$	$20^\circ$
Módulo(mm)	$m$	2
Addendum o altura de cabeza (mm)	$h_a=m$	2
Dedendum o altura de pie (mm)	$h_f$	2,5
Altura de trabajo (mm)	$h_w$	4
Juego en cabeza (mm)	$c$	0,5
Altura total del diente (mm)	$h$	4,5
Espesor (mm)	$s$	$\pi$
Hueco (mm)	$e$	$\pi$
Diámetro primitivo piñón (mm)	$d$	46

**Tabla 12.**Parámetros del engranaje [3]

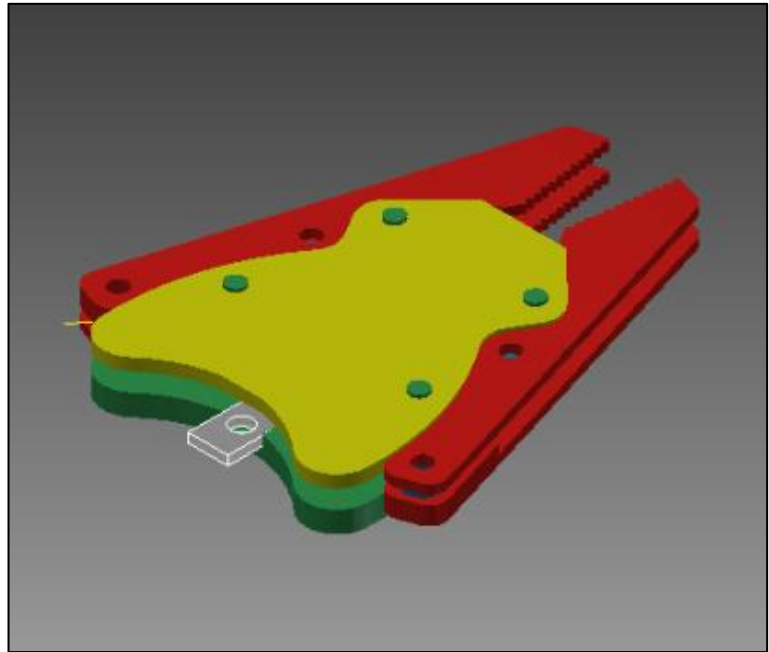
El problema que presentaba el conjunto piñón cremallera en un alto gasto energético y muy poca ventaja mecánica.

La fuerza de entrada que había que ejercerse sobre nuestro mecanismo para poder conseguir la fuerza de agarre deseada era mucho mayor.

Este fue el principal punto que se pretendía mejorar con una alternativa en el diseño.



**Figura 63.**Conjunto piñón-cremallera [29]



## Capítulo 8

# Nuevo prototipo. Descripción y características

---

### 8.1 Introducción

Habiendo realizado y el análisis dinámico del anterior modelo y comprobado la poca ventaja mecánica que lo caracteriza, procederemos a detallar en este capítulo, le nuevo modelo mejorado.

**¿En qué consistirá esta mejora?**

Es una mejora en el diseño. Ciertas componentes de nuestro mecanismo de agarre provocaban un desgaste muy elevado y en este nuevo prototipo se plantea una alternativa de diseño.

Los pasos seguidos para la obtención del prototipo han sido los siguientes:

- Estudiar las desventajas del gripper propuesto por Laura Nogales en su proyecto fin de grado.
- Crear alternativas de diseño de todos aquellos componentes que han provocado en mayor medida una baja ventaja mecánica
- Seleccionar un diseño final de cada componente.
- Aplicar las propiedades a los componentes ( tipo de material y propiedades mecánicas)
- Montar el conjunto asignando las diferentes restricciones entre piezas.
- Especificar las condiciones de contorno.
- Definir el movimiento.
- Ejecutar la simulación y analizar los resultados obtenidos.

## 8.2 Material empleado. Propiedades

Para la construcción de este nuevo mecanismo de agarre., se necesita realizar el diseño de cada componente, el montaje del conjunto y la simulación del movimiento del prototipo de la misma manera que se realizó para el primer prototipo.

Propiedades del acero inoxidable	
Densidad ( $\rho$ )	7.850 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de Elasticidad (E)	210.000N/mm <sup>2</sup>
Módulo de Rigidez (G)	81.000N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )	0,3
Coefficiente de dilatación térmica ( $\alpha$ )	1,2*10 <sup>-3</sup> (°C)
Límite elástico	240.000 N/mm <sup>2</sup>

**Tabla 13. Propiedades del acero inoxidable**

Se mantiene la elección del acero inoxidable ya que para prototipos iniciales nos vamos a centrar principalmente en el diseño geométrico y las relaciones cinemáticas entre componentes.

El tipo de material se reflejara en los últimos capítulos como posible estudio para futuros trabajos de Fin de Grado.

En este caso, el acero inoxidable reúne características como una elevada dureza, una buena maquinabilidad y elevados valores de tenacidad lo que le proporcionan buenas aptitudes para ser empleado como componente de nuestras piezas.



**Figura 64. Ejemplo: mano robótica de acero inoxidable [30]**

### 8.3 Diseño y modelado de las piezas

El listado de componentes que conformarán nuestro prototipo es:

COMPONENTE	Nº UNIDADES
Bases	2
Rótula	2
Conjunto deslizador	3
Brazos	4
Tornillos	8
Roscas	8
Arandelas	4

Tabla 14. Componentes.

El espesor de todas nuestras piezas, excepto los tornillos y tuercas, será de 5mm.

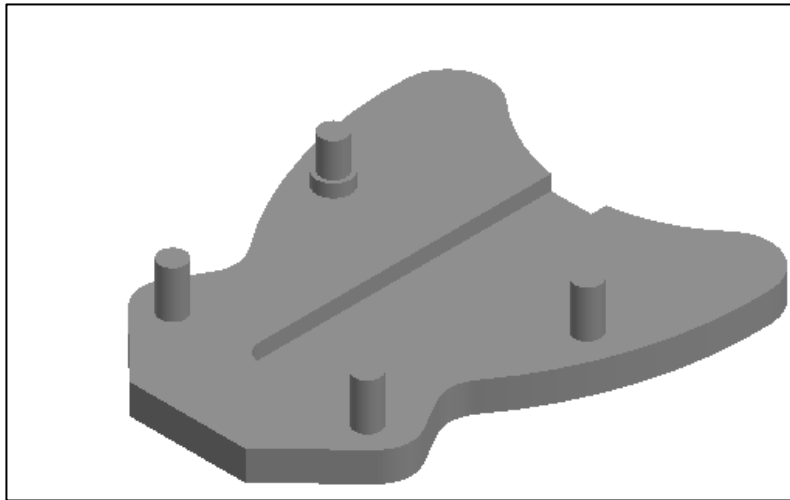


Figura 65. Conjunto de piezas que forman nuestro prototipo

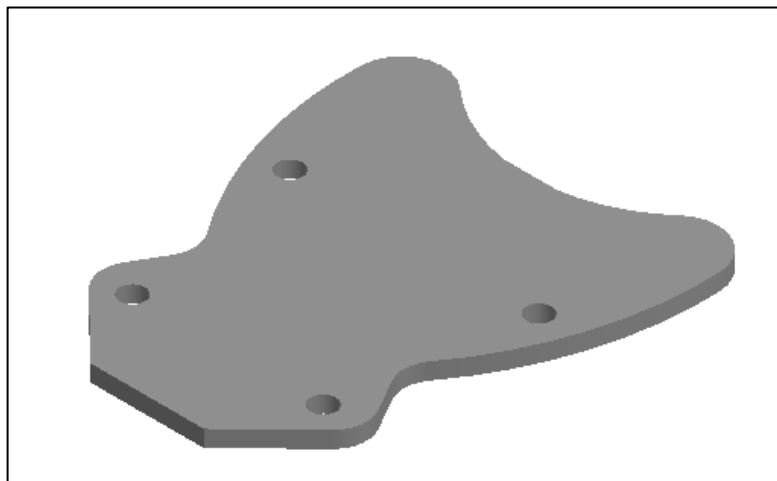


## Bases

---



**Figura 66.**Base inferior



**Figura 67.**Base superior



**Figura 68. Base superior del prototipo real fabricado.**



**Figura 69. Reverso de la base superior del prototipo real fabricado**



**Figura 70. Reverso base inferior del prototipo real fabricado**

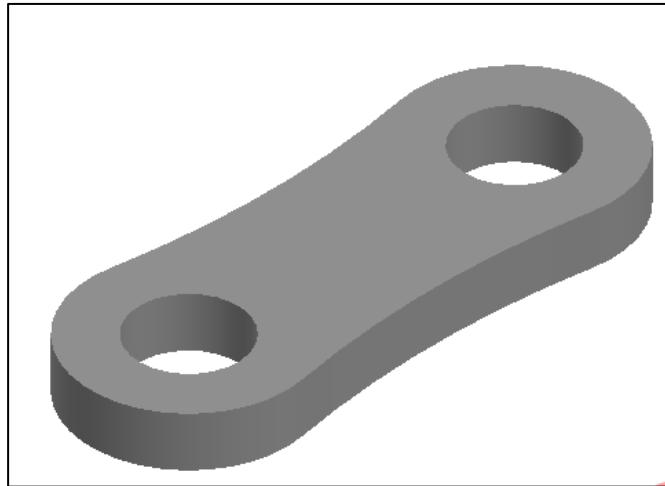


**Figura 71. Base inferior del prototipo real fabricado**

### **Rótula**

Las rótulas tampoco experimentan cambio de geometría desde el modelo inicial al modelo definitivo.

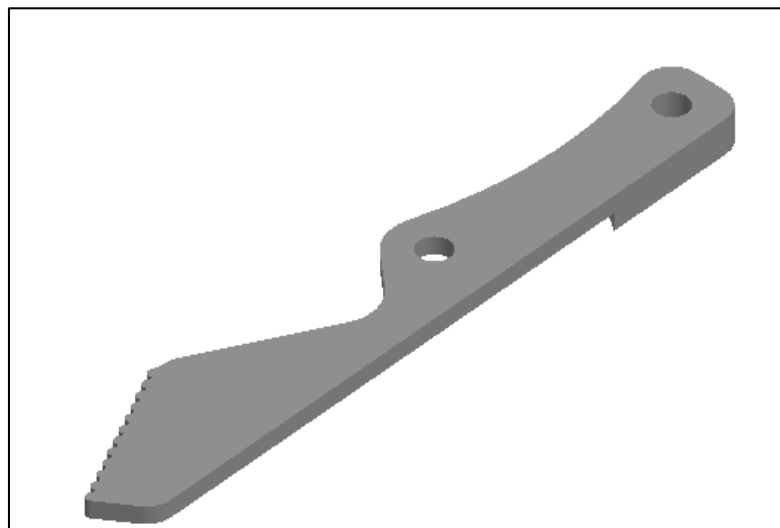
La característica principal que presenta esta pieza es permitir el correcto movimiento del brazo, evitando cualquier posible interferencia entre éste con la tapa y la base.



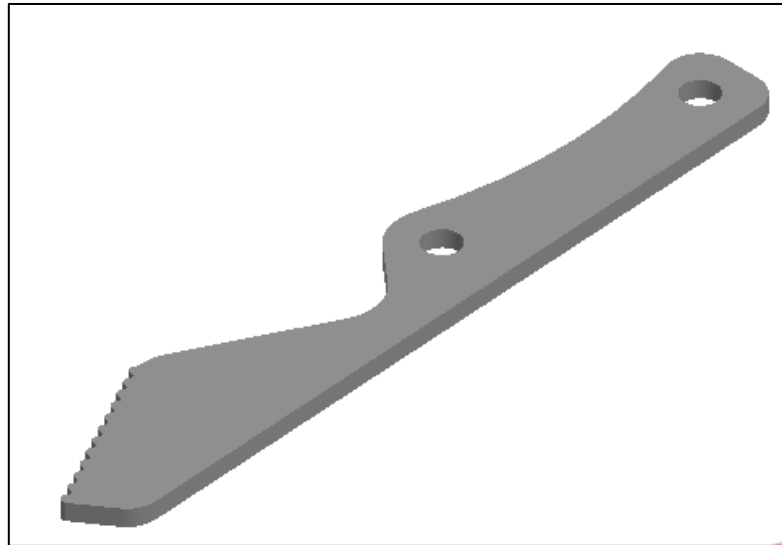
**Figura 72. Rótula**

### **Brazo**

El prototipo final está constituido por cuatro piezas como la que se muestra en la figura. El dispositivo de sujeción posee dos garras, por lo que cada una de ellas está constituida por dos piezas de tipo brazo.



**Figura 73. Brazo I**



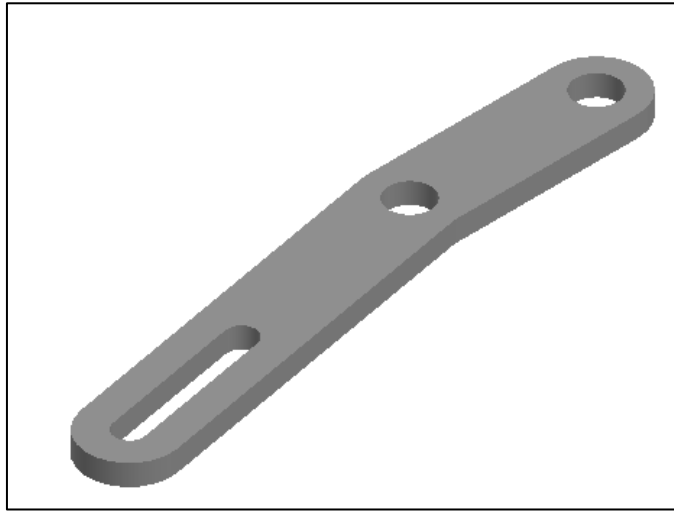
**Figura 74. Brazo II**



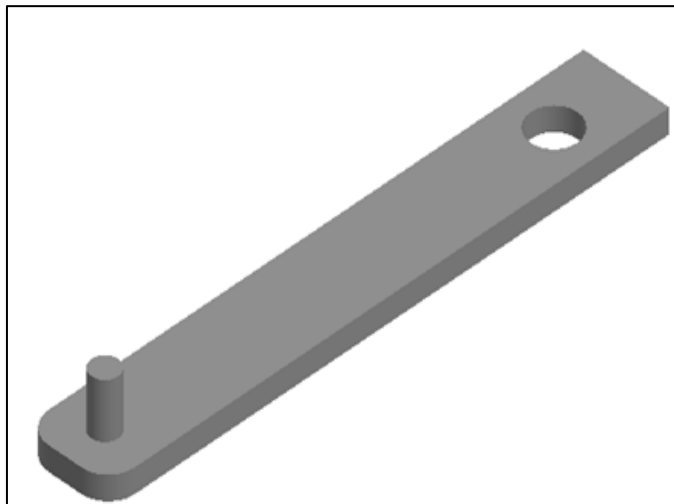
**Figura 75. Brazos del prototipo real fabricado**

### Conjunto deslizadera

---



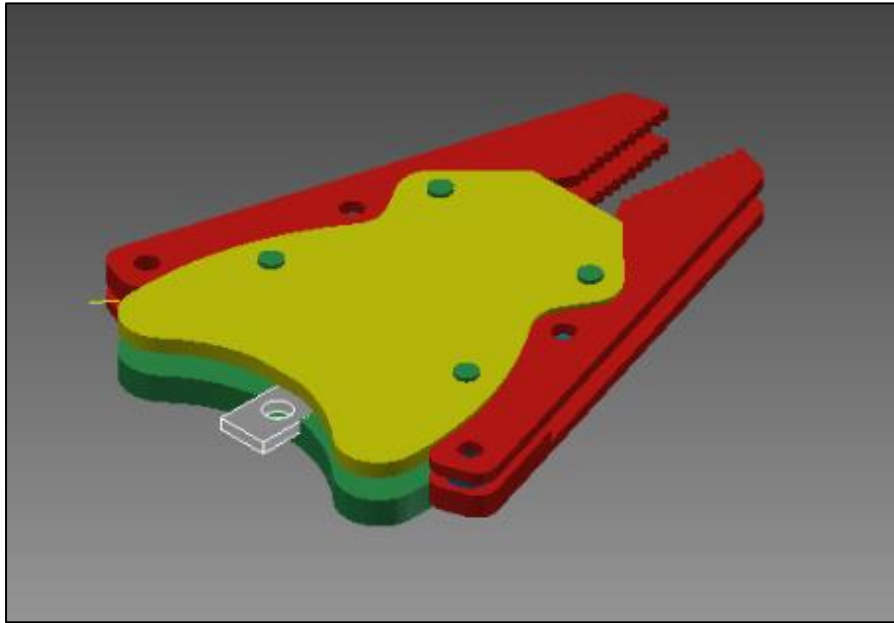
**Figura 76. Conjunto deslizadera**



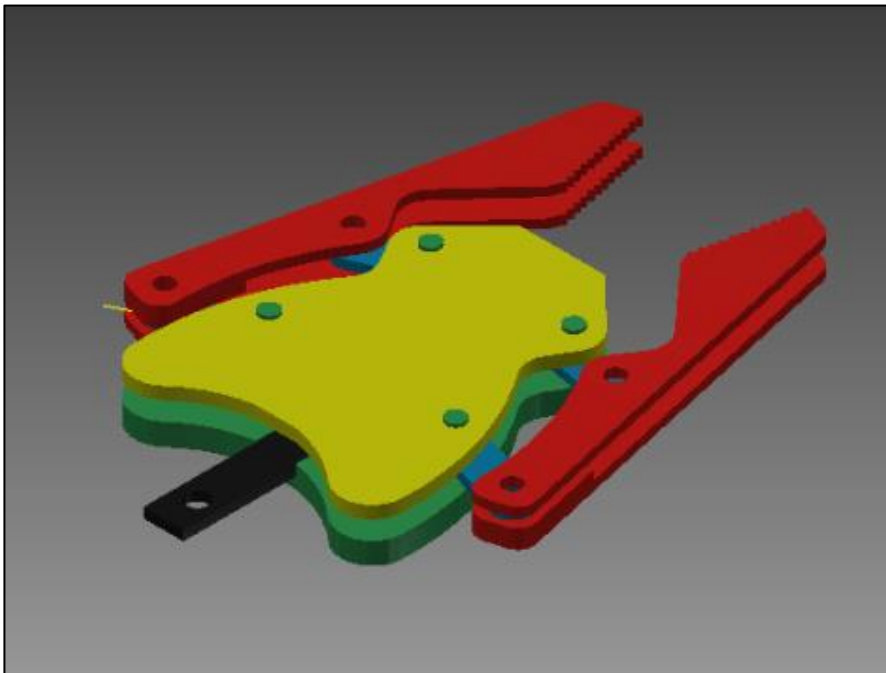
**Figura 77. Conjunto deslizadera**

## 8.4 Secuencia del movimiento

Una vez obtenida la simulación y creada la animación en formato *.avi*, se procede a detectar posibles interferencias entre todas las piezas del conjunto. Las interferencias obtenidas son nulas, por lo que se puede afirmar que el diseño y la simulación realizados son correctos

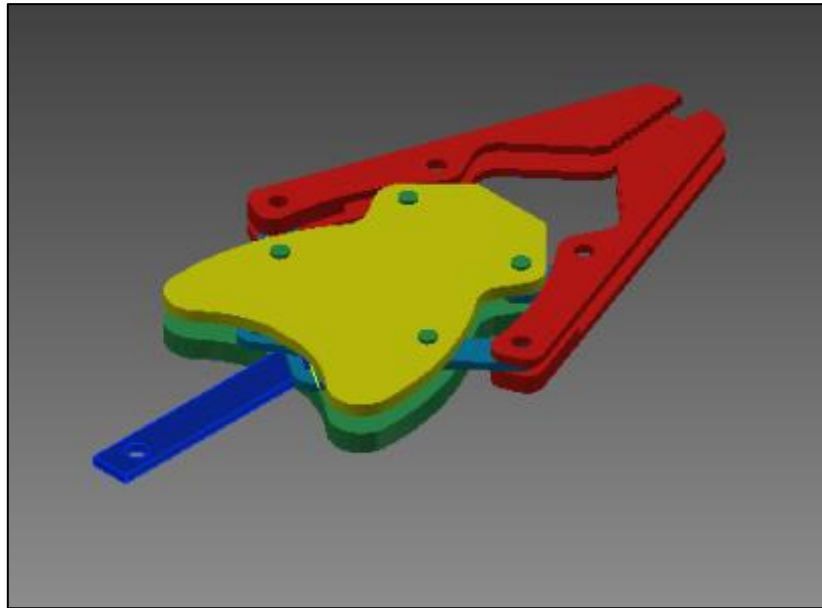


**Figura 78. Secuencia I movimiento**



**Figura 79. Secuencia II movimiento**





**Figura 80.Secuencia III movimiento**

A continuación se muestra la misma secuencia de movimiento en el prototipo fabricado.



**Figura 81.Secuencia I movimiento. Prototipo fabricado**





**Figura 82. Secuencia II movimiento. Prototipo fabricado**



**Figura 83. Secuencia III movimiento. Prototipo fabricado**



## Capítulo 9

# Presupuesto

---

### 9.1 Introducción

En este capítulo procederemos a calcular el presupuesto de nuestro proyecto. El cálculo de un presupuesto no es otra cosa que estimar los gastos que se tendrán que afrontar hasta cumplir una meta prevista.

Es un valor estimado que puede sufrir variaciones a lo largo del proceso por diferentes factores. Por ello y teniendo en cuenta que no es un dato real, necesitamos calcular de la manera más fiable posible las entradas del presupuesto.

Por supuesto, queda claro que el beneficio se producirá en el momento que nuestro precio de venta sea superior al precio de coste

Pese a que nuestro prototipo fabricado se ha obtenido a partir de una impresora 3D, el presupuesto a detallar se realizará teniendo en cuenta el material final de cual se quiere fabricar nuestro gripper.

Dichas entradas quedan detalladas a continuación:

- **Estimación de costos de las actividades.** costo de cada actividad de un paquete de trabajo y súmalas todas.

- **Base de las estimaciones.** Detalle de cualquier supuesto básico que pueda afectar a la inclusión o exclusión de costos indirectos en el presupuesto.
- **Cronograma del proyecto.** Con el cronograma podrás conocer las fechas de inicio y finalización para cada actividad del proyecto, los hitos del proyecto, los paquetes de trabajo, los paquetes de planificación y las cuentas de control.
- **Calendario de recursos.** Para conocer los recursos con los que cuentas y cuándo los vas a tener disponibles.
- **Contratos.** información acerca del contrato, los costos relacionados con los productos o servicios que se han comprado.
- **Activos de los procesos de la organización.** Porque influyen en la redacción del presupuesto, recuerda que algunos de estos activos son:
  - Las políticas, procedimientos y lineamientos existentes relacionados con la preparación del presupuesto.
  - Las herramientas para la preparación del presupuesto de costos.
  - Los métodos para la preparación de informes.

## **9.2 Cálculo del presupuesto**

### **Estimación de costos de las actividades**

En cuanto a la **proyección de costos**, es importante saber cuántos recursos necesitarás invertir para sostener las ventas o ingresos del mes.

Los costos (fijos y variables) que deberás incluir en este apartado son:

- De compra o producción del producto y/o servicio
- .
- De comercialización.
- De entrega.
- De ventas y mercadotecnia.
- De administración y operación.

Nosotros, teniendo en cuenta que muchos de los recursos necesarios podemos reutilizarlos del proyecto de Laura Nogales, y que nuestra intención es realizar un trabajo de investigación bastante alejado de momento de las líneas comerciales, realizaremos a partir de nuestro diagrama Gant, los cálculos directos de fabricación

**Costes de fabricación  $C_f$ :** incluyen todos los gastos directos para fabricar un producto como costo de materias primas, costo de mano de obra, utillajes, etc.

1. Coste de materia prima:

Coste de materia prima- Acero inoxidable		
Cantidad	Precio €/kg	Total
1kg	1,45	1,45 €

2. Coste mano de obra

Coste mano de obra- centro de mecanizado				
Coste operario €/h	Nº horas operario	Maquina €/h	Nº horas máquina	Total
7€/h- 1º operario	8	20€/h- Centro de mecanizado	1,5	86
5€/h- 2º operario	0,5	7€/h- Torno	0,25	4,25
				90,25 €

<b>Costes de fabricación</b>	18% Coste mano de obra = $0,18 \times 90,25 = 16,245\text{€}$
------------------------------	---

Cálculo de costes generales

**Costes generales  $C_g$ :** son aquellos que no se pueden asignar de forma directa a un producto determinado, lo cual dificulta su cálculo.

<b>Costes generales</b>	30% Coste mano de obra = $0,30 \times 90,25 = 27,075\text{€}$
-------------------------	---

Destacar que el circuito neumático no se fabricará ya que reutilizaremos el del proyecto de Laura Nogales. Por lo tanto no tendremos costes en este elemento.

El coste total o precio de costo será, por tanto la suma de ambos:

$C_t = C_f + C_g = 135,02\text{€}$
------------------------------------

Los precios se han obtenido de las siguientes fuentes:

- Mano de obra Directa: Tablas salariales del Convenio Colectivo del
- Comercio del Metal 2009-2012.
- Precio hora máquina: Asociación Española de Fabricantes de Máquinas- Herramientas.
- Precio materia prima: Lemon Maker -BQ

**Precio de venta**

El costo final  $C$  es la suma de los costos de fabricación más los costos generales.

El precio de venta  $P$  se puede estimar a partir del beneficio esperado  $B$  (en %) y el coste total  $C_t$ .

$$P = \left(1 + \frac{B}{100}\right) \cdot C_t$$

**¿Qué beneficio queremos obtener?**

Nuestra idea sería obtener un beneficio del 35%

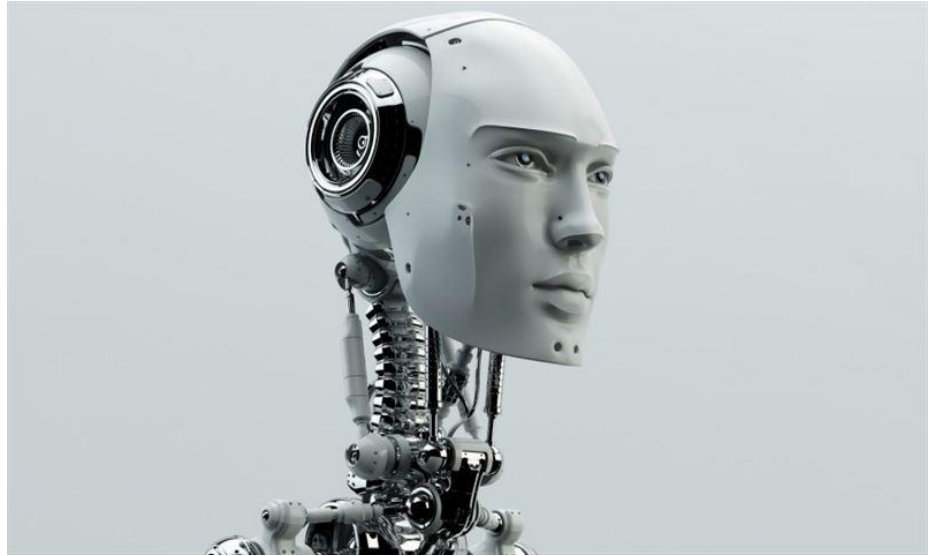
<b>Beneficios</b>	$0,35 \times 135,02 = \mathbf{47,257 \text{ €}}$
-------------------	--

<b>Precio de fabricación</b>	$135,02 + 47,257 \text{ €} = \mathbf{182,277 \text{ €}}$
------------------------------	--

Por último indicar que el precio de fabricación final, de una única pinza de sujeción con garras retráctiles, no se han considerado los costos de ingeniería ni se han tenido en cuenta dentro del precio de fabricación los costes de transporte e instalación.

Leganés a 2 de Junio de 2015

Fdo. Alejandra Carranza Pose Ingeniera proyectista.



## Capítulo 10

# Conclusiones y trabajos futuros.

---

### 10.1 Introducción

En este penúltimo capítulo, se detallaran las conclusiones sobre el proyecto, analizando como se ha ido creando y por lo tanto evaluando el alcance o no de los objetivos que se detallaban en el comienzo de este trabajo fin de grado.

El punto 10.3 hace referencia a los trabajos futuros como continuación de este, y que constituirán el proyecto fin de carrera de otros alumnos.

### 10.2 Conclusiones

En este Proyecto se ha realizado el análisis del diseño de una pinza de sujeción con dos garras retráctiles propuesto a partir de un diseño inicial, desarrollado previamente por el profesor Dr. Enrique Soriano Heras de la Universidad Carlos III de Madrid.

Mediante la utilización del método analítico de Raven y el principio de los trabajos virtuales se ha podido cuantificar la ventaja mecánica del mecanismo de agarre.

Posteriormente se ha utilizado el software de diseño Autodesk® Inventor® 2013 que ha permitido generar un modelo 3D exacto, llevando a cabo una mejora del diseño, eliminando la transmisión piñón-cremallera debido al gasto energético que suponía en nuestro gripper, siendo sustituido por un sistema de deslizadera.

El diseño de nuevos componentes se ha basado en la evolución de los originales y se han ensamblado de acuerdo con las relaciones asociativas que se les han asignado.

Una vez ensamblado el conjunto, se realizará la verificación de que el mecanismo diseñado cumple las especificaciones para las cuales ha sido diseñado, mediante el desarrollo de prototipos de bajo costo

Se puede concluir que todos los objetivos han sido alcanzados satisfactoriamente, por lo que se lleva a cabo la fabricación del prototipo experimental, fabricado por el laboratorio de prototipado rápido de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid

## **10.3 Trabajos futuros**

A partir del trabajo desarrollado en el presente Proyecto, se dejan líneas abiertas para la mejora de la pinza de sujeción con garras retráctiles como son:

- Optimizar el mecanismo utilizando el programa Autodesk® Inventor® en el cual, en el entorno de análisis de tensión es capaz de realizar estudios de optimización paramétrica, efectuando restricciones de diseño incluyendo la masa.
- Construir piezas de diferentes materiales, según las solicitudes a las que estén sometidas.
- Diseñar un brazo mecánico de tal manera que las pinzas se colocarían en el extremo del mecanismo, dotando a la pinza capacidad para desplazarse por diferentes posiciones en el espacio. Podría realizarse el control mediante sensores electrónicos y un software de control.
- Determinar con estudios más exhaustivos las características del objeto que la pinza puede agarrar tal como forma, peso, rigidez del objeto, naturaleza del material, rugosidad del mismo, etc.

# Capítulo 11

## Bibliografía y anexos

---

### 11.1 Bibliografía

- [1] Página web: <http://www.marketing-xxi.com/concepto-de-ciclo-de-vida-del-producto-36.htm> (Última visita: 25/05/2015).
- [2] Página web [http://www.mecapedia.uji.es/ventaja\\_mecanica.htm](http://www.mecapedia.uji.es/ventaja_mecanica.htm) (Última visita: 05/05/2014).
- [3] Nogales, Laura Proyecto Fin de Grado, “Diseño y análisis de una pinza de agarre con sistema retráctil” Universidad Carlos III de Madrid, 2013, Madrid,
- [4] Página oficial de Autodesk®: <http://www.autodesk.com/products/autodeskinventor-family/overview> (Última visita: 12/08/2014).
- [5] <https://www.academia.edu/> clasificación de mecanismos en pinzas industriales de dos dedos (Última visita: 11/01/2015).
- [6] Osvaldo Hugo Penisi, Marco Ceccarelli, Giuseppe Carbone, “Clasificación de mecanismos en pinzas industriales de dos dedos”, Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, vol.7, n.1, pp.59-75, 2003.
- [7] Blog de robótica aplicada. <http://laeduteca.blogspot.com.es/2013/06/divulgacion-cadena-robotizada.html> (Última visita: 22/01/2015).
- [8] Blog de robótica aplicada a la medicina: <http://roboticaensalud.blogspot.com.es/> (Última visita: 22/01/2015).
- [9] <http://www.chavanel.es> / Pinza enganche rápido. Duro, seguro y resistente. De 135 mm (Última visita: 22/01/2015).
- [10] Hesse, Stefan. Las Pinzas y Sus Aplicaciones. Editorial Festo. 2000.
- [11] Hesse, Stefan. 99 Ejemplos Prácticos de Aplicaciones Neumáticas. Editorial Festo. 2000



[12] <http://www.monografias.com/trabajos96/protesis-mano-robotica/protesis-mano-robotica.shtml>

[13] <http://proton.ucting.udg.mx/materias/moderno/u56.htm>

[14] Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on SYSTEMS, An Optimum Design Algorithm for Mechanisms in Two-Finger Grippers, CHIARA LANNI and MARCO CECCARELLI, LARM: Laboratory of Robotics and Mechatronics, DiMSAT, University of Cassino, Via Di Biasio 43, 03043 Cassino (FR) ITALY, <http://webuser.unicas.it/weblarm/larminindex.htm>

[15] Estress Abestoy, Manuel , “Principios de Mecanizado y Planificación de Procesos” Universidad Politécnica de Valencia, 2007, Cartagena.

[16] Página web: <http://roboticapuj.es.tl/Sistema-de-Accionamiento.htm>

[17] Comisión Europea. Directiva de Máquinas 98/37/CEE, 1998.

[18] Comisión Europea. Directiva de Uso de Equipos 89/655/CEE, 1989.

[19] EN ISO 12100-1:2004. Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño.

[20] EN 1088:1995. Seguridad de las máquinas. Dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos. Principios para el diseño y la selección.

[21] Plan de mejora de las condiciones de trabajo. Universidad Politécnica de Valencia <http://www.sprl.upv.es/pdf/anexo1gpamec.pdf>

[22] Página web <http://mecfunnet.faii.etsii.upm.es/Xitami/webpages/euler/wwwcinana.html>

[23] E.Soriano-Heras, H Rubio-Alonso , JC García-Prada, G Carbone, “Validación experimental de una pinza de dos dedos retráctiles”, Universidad Carlos III de Madrid

[24]Página web: [https://es.wikipedia.org/wiki/Principio\\_de\\_los\\_trabajos\\_virtuales](https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_los_trabajos_virtuales)

[25] Mroginsku, Javier, “Principio de los Trabajos Virtuales”, Unidad 7.

[26] Apuntes “Cálculo y diseño de máquinas”. Curso 2012-2013. Universidad Carlos III de Madrid. Grado en Ingeniería Mecánica.

[27] H. Rubio Alonso, C. Castejón Sisamón, J. C. García Prada: “Problemas resueltos de Teoría de Máquinas y Mecanismos”. Ed.: Thomson. 2007

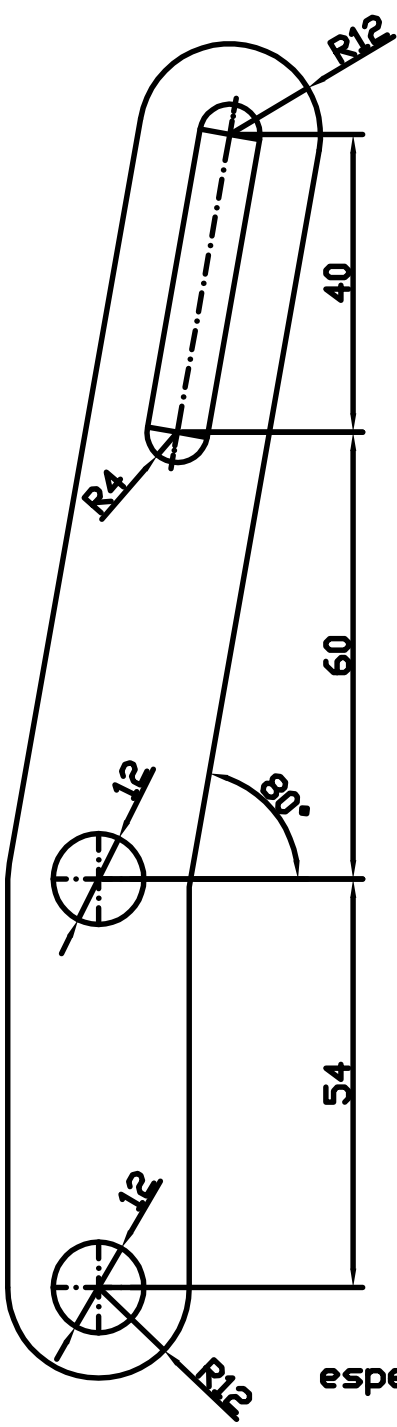
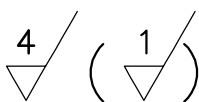
[28] Mariñas, Santiago , “El centro instantáneo de rotación”, Instituto Universitario Politécnico, San Felipe, Venezuela, 2014

[29] Página web: <http://aprendemostecnologia.org/2008/09/04/mecanismo-de-pinon-cremallera/>



[30] Página web: Blog de robótica:  
<http://macacoevoluido.blogspot.com.es/2010/06/exterminando-o-futuro-com-lego.html>

## 11.1 Anexos

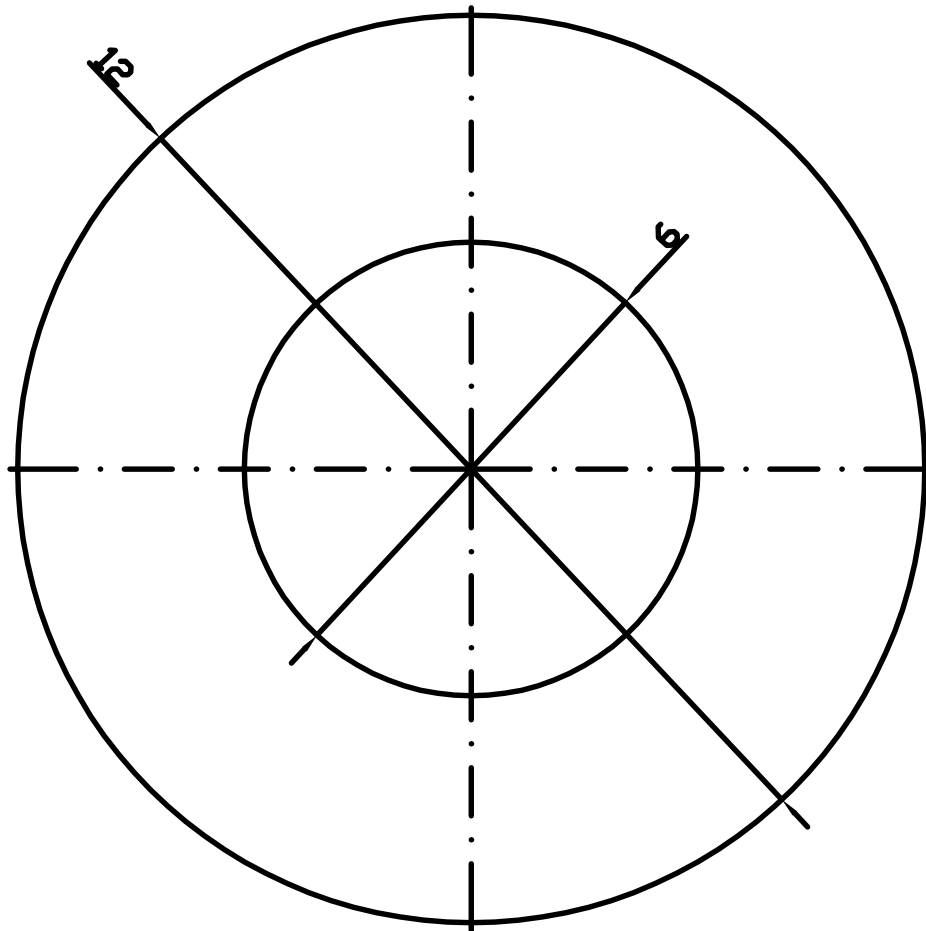
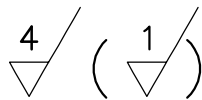
Medidas en tolerancia según UNE-EN 22768 grado fino									
Valores para cotas de longitud Campo de cota nominal en mm					Valores para ángulo Campo de cota nominal en mm (longitud del lado corto)				
mas de 6 hasta 6	mas de 30 hasta 30	mas de 120 hasta 120	mas de 400 hasta 400	mas de 1000 hasta 1000	mas de 10 hasta 10	mas de 50 hasta 50	mas de 120 hasta 120	mas de 200 hasta 200	mas de 500 hasta 500
±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1'	±30'	±20'	±10'	±10'



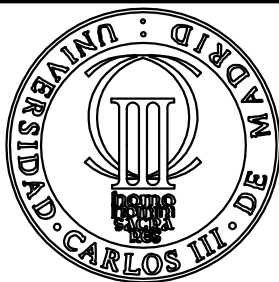

espesor 3 mm

Radios no acotados		Chaflanes no acotados		Templado por inducción		Proteger roscas		Cota en bruto:	
R =		Ch. = 0.5x45°				Prof. capa		Material:	
Tratamto.		HRC: ±		HRC: ±		HRC: ±			
Dibujado por:		A.Carranza		Sustituye a:					
Comprobado		E.Soriano		Sustituido por:					
Escala:		Denominación:							
1/1		CORREDERA							
Formato:				N° Hoja		de		Hojas	
Id.n°		(Ref.N°)		TA-N°		Estado de validez			
								N° Matrícula: 100072525	

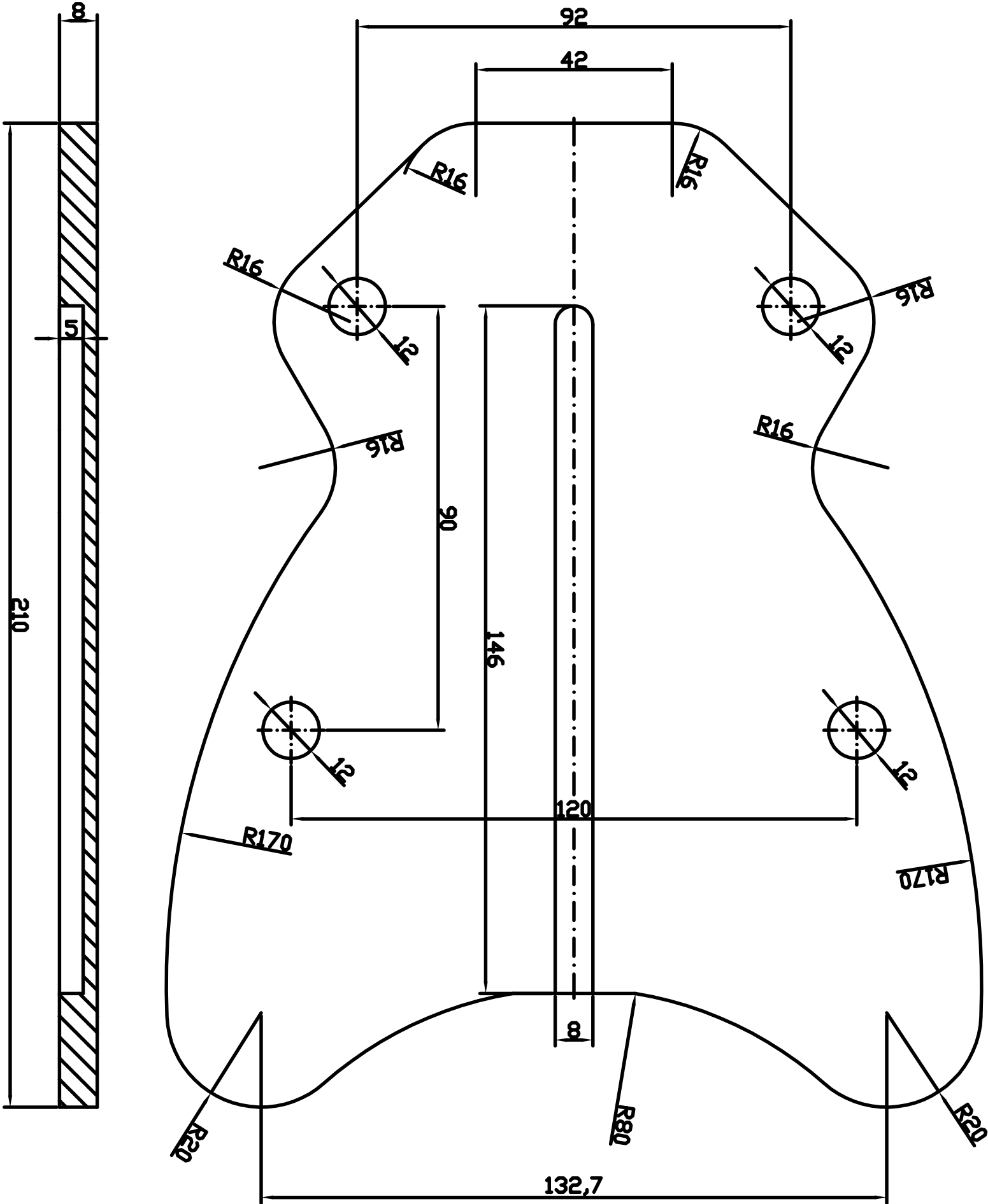
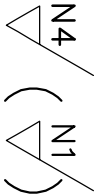
Medidas en tolerancia según UNE-EN 22768 grado fino									
Valores para cotas de longitud Campo de cota nominal en mm					Valores para ángulo Campo de cota nominal en mm (longitud del lado corto)				
hasta 6	mas de 6 hasta 30	mas de 30 hasta 120	mas de 120 hasta 400	mas de 400 hasta 1000	hasta 10	mas de 10 hasta 50	mas de 50 hasta 120	mas de 120	
±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1°	±30'	±20'	±10'	





espesor 3 mm

Radios no acotados		Chaflanes no acotados		Templado por inducción		Proteger roscas		Cota en bruto:	
R =		Ch. = 0.5x45°				Prof. capa		Material:	
Tratamto.		HRC: ±		HRC: ±		HRC: ±			
Dibujado por:		A.Carranza		Sustituye a:					
Comprobado		E.Soriano		Sustituido por:					
Escala:		Denominación:							
10/1		ARANDELA							
Formato:				N° Hoja		de		Hojas	
Id.n°		(Ref.N°)		TA-N°		Estado de validez			
									N° Matrícula: 100072525

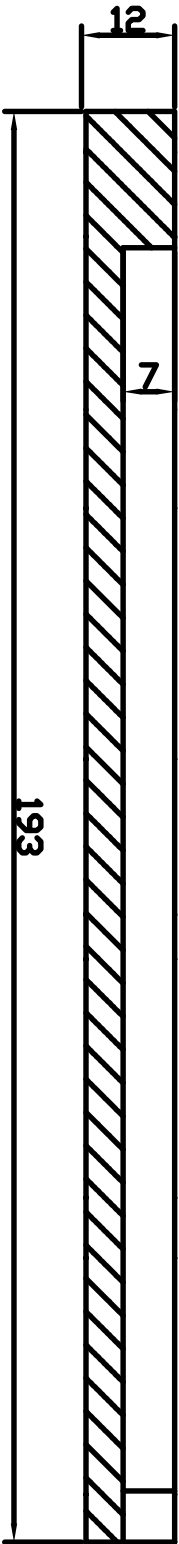
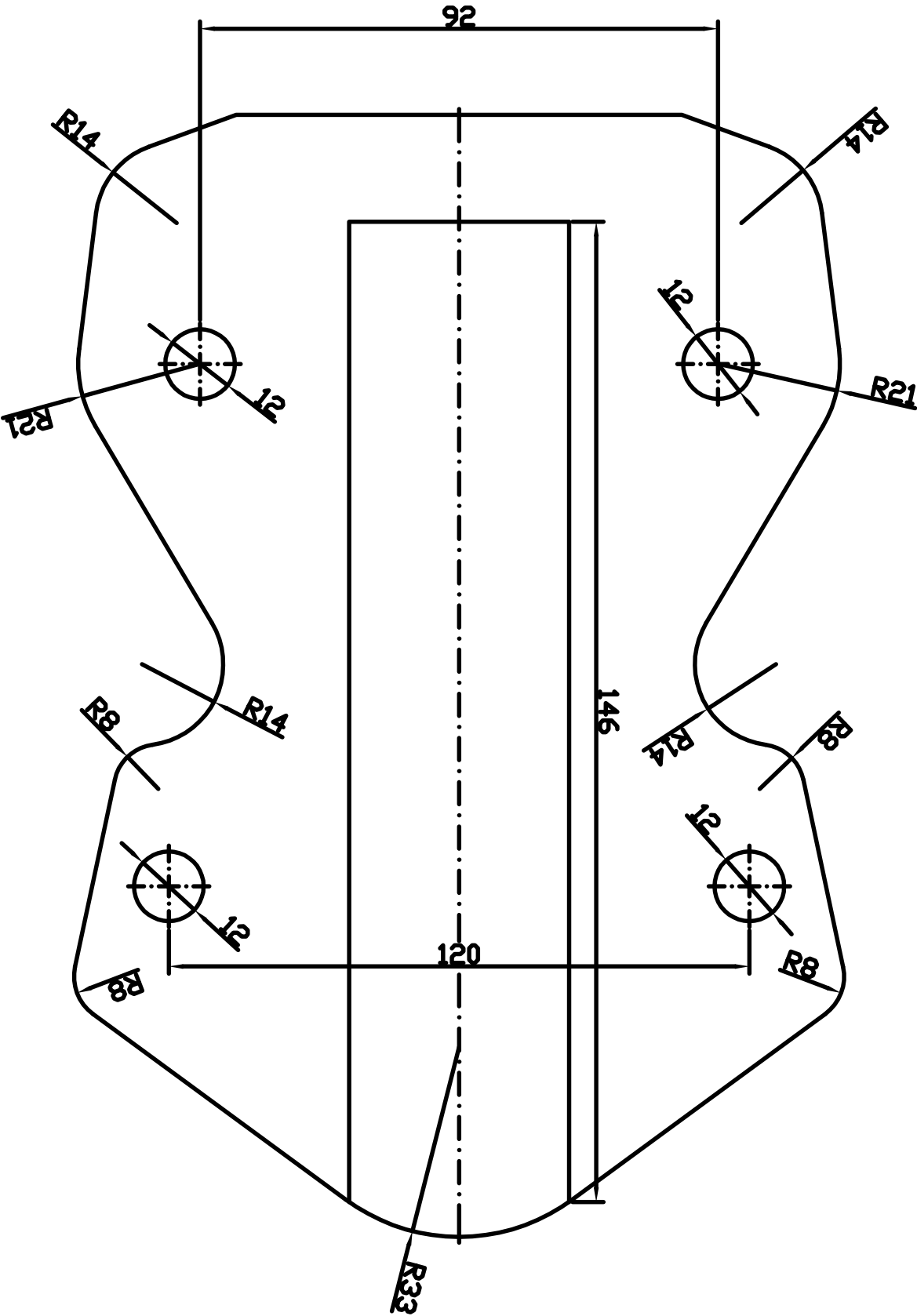
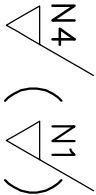
Medidas sin tolerancia según UNE-EN 22768 grado fino									
Valores para cotas de longitud Campo de cota nominal en mm					Valores para ángulo Campo de cota nominal en mm (longitud del lado corto)				
hasta 6	mas de 6 hasta 30	mas de 30 hasta 120	mas de 120 hasta 400	mas de 400 hasta 1000	hasta 10	mas de 10 hasta 50	mas de 50 hasta 120	mas de 120	
±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1'	±30"	±20"	±10"	



Radios no acotados		Chafilones no acotados Ch. = 0.5x45°		Templado por inducción		Proteger roscas Prof. copa		Cota en bruto:	
R =		HRC: ±		HRC: ±		HRC:		Material:	
Tratamto.		A. Carranza		Sustituye a:					
Dibujado por:		E. Soriano		Sustituido por:					
Comprobado									
Escala:		Denominación:							
1:1		BASE INFERIOR							
Formato:		Nº Hoja de Hojas							
Id.nº		(Ref.Nº) TA-Nº		Estado de validez		 		Nº Matricula: 100072525	



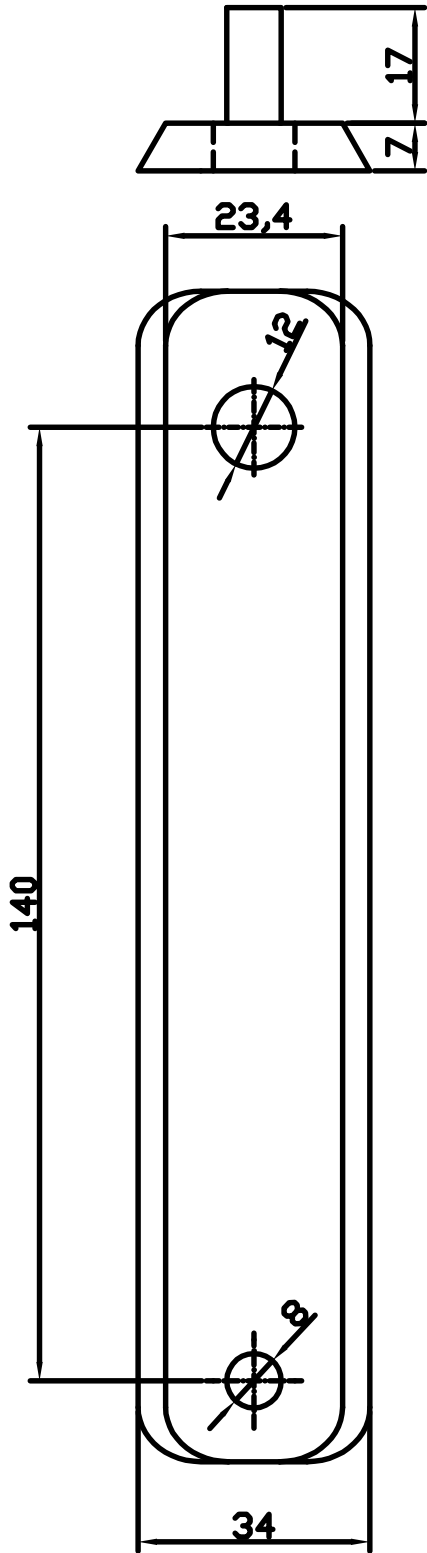
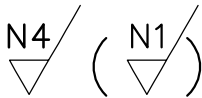
Medidas sin tolerancia según UNE-EN 22768 grado fino									
Valores para cotas de longitud Campo de cota nominal en mm					Valores para ángulo Campo de cota nominal en mm (longitud del lado corto)				
hasta 6	mas de 6 hasta 30	mas de 30 hasta 120	mas de 120 hasta 400	mas de 400 hasta 1000	hasta 10	mas de 10 hasta 50	mas de 50 hasta 120	mas de 120	
±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1'	±30'	±20'	±10'	



Radios no acotados		Chafilones no acotados Ch. = 0.5x45°		Templado por inducción		Proteger roscas Prof. copa		Cota en bruto:	
R =		HRC: ±		HRC: ±		HRC:		Material:	
Tratamto.		A. Carranza		Sustituye a:					
Dibujado por:		E. Soriano		Sustituido por:					
Comprobado									
Escala:		Denominación:							
1:1		BASE INFERIOR							
Formato:		Nº Hoja de Hojas							
Id.nº		(Ref.Nº) TA-Nº		Estado de validez				Nº Matricula: 100072525	



Medidas en tolerancia según UNE-EN 22768 grado fino									
Valores para cotas de longitud Campo de cota nominal en mm					Valores para ángulo Campo de cota nominal en mm (longitud del lado corto)				
mas de 6 hasta 6	mas de 30 hasta 30	mas de 120 hasta 120	mas de 400 hasta 400	mas de 1000 hasta 1000	mas de 10 hasta 10	mas de 50 hasta 50	mas de 120 hasta 120	mas de 20° hasta 20°	mas de 120° hasta 120°
±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1°	±30°	±20°	±10°	±10°



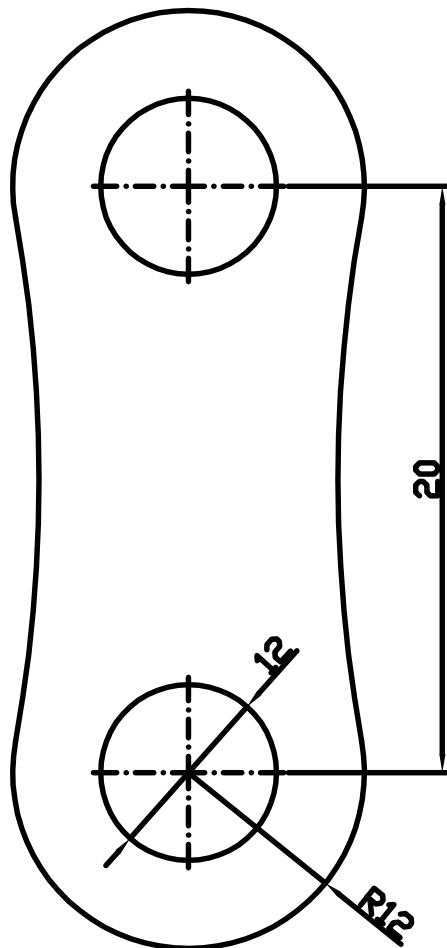
Radios no acotados		Chaflanes no acotados		Templado por inducción		Proteger roscas		Cota en bruto:	
R =		Ch. = 0.5x45°				Prof. capa		Material:	
Tratamto.		HRC: ±		HRC: ±		HRC: ±			
Dibujado por:		A.Carranza		Sustituye a:					
Comprobado		E.Soriano		Sustituido por:					
Escala:		Denominación:							
1/1		GUÍA							
Formato:				N° Hoja de Hojas					
Id.n°		(Ref.N°)		TA-N°		Estado de validez			
									N° Matrícula: 100072525





hasta 6	mas de 6 hasta 30	mas de 30 hasta 120	mas de 120 hasta 400	mas de 400 hasta 1000	mas de 10 hasta 50	mas de 50 hasta 120	mas de 120
±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1°	±20°	±10°

N4

(N1)



espesor 3 mm

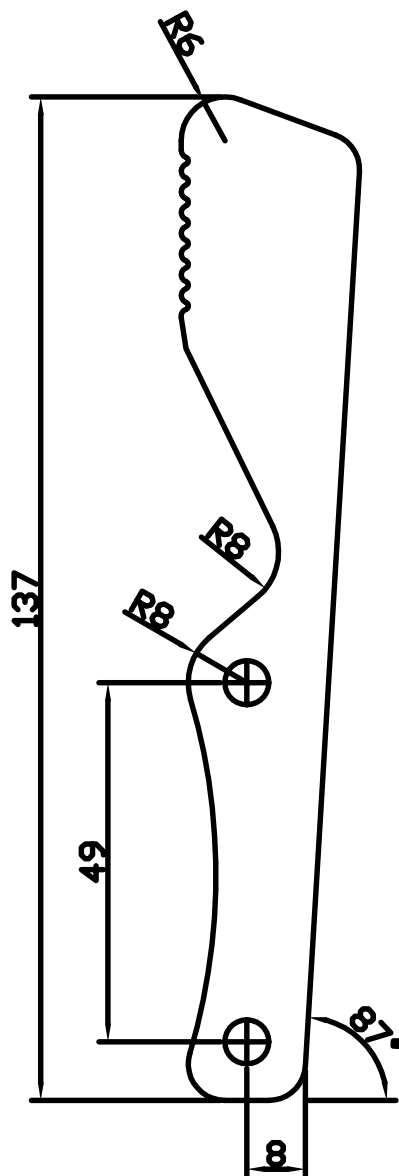
Radios no acotados		Chafilanes no acotados		Templado por inducción		Proteger roscas		Cota en bruto:	
R =		Ch. = 0.5x45°				Prof. capa		Material:	
Tratamto.		HRC: ±		HRC: ±		HRC: ±			
Dibujado por:		A.Carranza		Sustituye a:					
Comprobado		E.Soriano		Sustituido por:					
Escala:		Denominación:							
4/1		RÓTULA							
Formato:				N° Hoja de Hojas					
Id.n°		(Ref.N°)		TA-N°		Estado de validez		N° Matrícula:	
						 		100072525	





mas de 6 hasta 6	mas de 30 hasta 30	mas de 30 hasta 120	mas de 120 hasta 400	mas de 400 hasta 1000	mas de 10 hasta 50	mas de 50 hasta 120	mas de 120 hasta 120
±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1°	±30°	±10°

N4

(N1)



espesor 3 mm

Radios no acotados		Chafilanes no acotados		Templado por inducción		Proteger roscas		Cota en bruto:	
R =		Ch. = 0.5x45°		HRC: ±		Prof. capa		Material:	
Tratamto.		HRC: ±		HRC: ±		HRC: ±			
Dibujado por:		A.Carranza		Sustituye a:					
Comprobado		E.Soriano		Sustituido por:					
Escala:		Denominación:							
1/1		GARRA							
Formato:				N° Hoja de Hojas					
Id.n°		(Ref.N°)		TA-N°		Estado de validez		N° Matrícula:	
						 		100072525	

